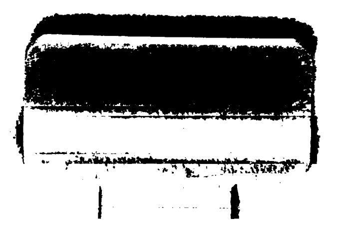



UC-NRLF
$B 18 131





Des ganzen Werkes Lieferung 4.

HANDBUCH DER HYGIENE.

HERAUSGEGEBEN VON

DR. THEODOR WEYL

IN BERLIN.

ERSTER BAND. ERSTE ABTEILUNG.
ZWEITE LIEFERUNG.

Hygiene des Bodens.

Mit besonderer Rücksicht auf Epidemiologie und Bauwesen.

Von

Josef von Fodor,

Professor der Hygiene an der Königl. Ung. Universität zu Budapest, Mitglied der Ung. Akademie der Wissenschaften, LL. D. (hon. c.) der Universität zu Cambridge etc. etc.

Mit 23 Abbildungen und 2 Curventafeln.

JENA,

VERLAG VON GUSTAV FISCHER.

1893.

Preis für Abnehmer des ganzen Werkes: 3 M. 60 Pf.
Preis für den Einzelverkauf: . . . . . 4 M. 50 Pf.

HYGIENE DES BODENS.

MIT BESONDERER RÜCKSICHT
AUF EPIDEMIOLOGIE UND BAUWESEN.

BEARBEITET

VON

JOSEF VON FODOR,

PROFESSOR DER HYGIENE AN DER KÖNIGL. UNG. UNIVERSITÄT ZU BUDAPEST, MITGLIED DER UNG. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN, LL. D. (HON. C.) DER UNIVERSITÄT ZU CAMBRIDGE etc. etc.

MIT 23 ABBILDUNGEN UND 2 CURVENTAFELN.

HANDBUCH DER HYGIENE

HERAUSGEGEBEN VON

DR. THEODOR WEYL.

ERSTER BAND. ERSTE ABTEILUNG.

ZWEITE LIEFERUNG.

JENA,
VERLAG VON GUSTAV FISCHER.
1893.

Inhaltsübersicht.

Abbildungen.

Einleitung.

Religion und Dichtung, praktische Erfahrung und Wissenschaft haben die Abhängigkeit des Menschen vom Boden erkannt. Aus Staub sind wir geworden und zu Staub sollen wir wieder werden — so lehrt die Erste; Muttererde nennt ihn die Zweite; für die Quelle aller Nahrung und allen Wohlstandes hält ihn die Dritte; und die Vierte sieht im Boden einen wirksamen Regulator der physischen Entwickelung und der Gesundheit des Menschen.

Und in der That: vollkommen berechtigt sind alle diese Zeichen einer respektvollen Verehrung für den Detritus, welcher die Oberfläche des Festlandes großenteils bedeckt und welchen wir mit der Bezeichnung Boden oder Muttererde in erster Reihe gemeint haben. Denn in diesem Boden findet alles organische Leben seinen Ursprung und nach Ablauf des Lebens sein Begräbnis, um, einem Phönix gleich, zu neuem Leben zu erwachen. Der Boden liefert uns bald direkt und noch häufiger indirekt unsere Nahrung, ihm entspringt auch unser wichtigstes Getränk, das Wasser. Desgleichen ist die Bequemlichkeit unserer Wohnungen zu großem Teil vom Boden abhängig, auf und teilweise in welchem wir unsere Häuser bauen.

Mithin ist der Boden thatsächlich die Mutter, die Gebärerin, Pflegerin und Erhalterin des Menschen, wie der Dichter sagt. Der Naturforscher aber betrachtet diese Mutter mit ganz anderen, mit realistischen Augen. Er, und insbesondere der Hygieniker, weiß recht wohl, daß es nicht immer eine gute, sondern sehr oft eine böse, herzlose Mutter ist, die ihre Kinder, die Menschen, häufig quält, verdirbt und um das Leben bringt. Die Naturwissenschaft hat mit jedes Mißverständnis ausschließender Klarheit nachgewiesen: wie der Boden, so der auf demselben lebende Mensch. Auf einem gesunden Boden ist der Mensch kräftig und blühend, auf einem ungesunden hingegen verkümmert und hinfällig. Sie hat nachgewiesen, daß die mannigfaltigen tückischen Krankheitskeime, die in der Außenwelt leben und gedeihen, und in den Körper des Menschen sich einschleichend hier auf Leben und Tod mit ihm kämpfen, häufig genug im Boden verborgen sind, ja hier gezüchtet wurden. Es ist somit eine der wichtigsten Aufgaben des Hygienikers für das Leben und die Entwickelung des Menschen, zu erforschen und klar-

zulegen, welches die förderlichen oder nachteiligen Eigenschaften des Bodens sind, worin die Ursache jener Wirkungen zu suchen ist und mit welchen Mitteln die schädlichen Einflüsse abzuwenden wären.

Es bedarf gar keiner besonders tiefsinnigen Betrachtung, um sich zu überzeugen, daß der Boden auf die Bequemlichkeit und Gesundheit der Menschen von wesentlichem Einfluß ist. Auch der Ungebildete wird die Nachteile eines feuchten Bodens an den Mauern und der modrigen Luft seiner Wohnung wahrnehmen; auch am Wasser eines in sumpfigem, schlammigem Boden gegrabenen Brunnens wird ihm die Trübung und der unangenehme Geschmack auffallen, und in dieser Richtung versteigt er sich häufig bis zu einer durch das undurchdringliche Dunkel im Boden geweckten abergläubischen Furcht vor den schädlichen Eigenschaften, die hier hausen möchten, bis zu der Voraussetzung, daß im Boden faulende, pestilentielle Substanzen vorhanden sind, die gegebenen Falles in Brunnen und Keller eindringen und einen mephitischen Geruch verbreiten [1]), — und übersieht dabei ganz, daß die eindringende Jauche offenbar bloß der natürliche Inhalt einer in Vergessenheit geratenen oder übersehenen Abtrittsgrube ist.

Aber ebenso natürlich wird auch der denkende Mensch den Ursprung und die Ursachen der rätselhaften Krankheiten, namentlich der Epidemien im Boden suchen. Es ist nämlich auffallend, daß dieselben vorwiegend an gewissen Orten vorherrschen, an anderen dagegen gar nicht, oder doch in milderem Grade vorkommen. Hieraus wird man natürlich folgern, daß auch die Ursache an dem Orte haften muß, wo die Erkrankung erfolgte. An die Luft, die rasch entflieht, können die Erreger und Erhalter der Krankheit nicht gebunden sein, ebensowenig an die Nahrung oder Kleidung, die nach Individuen wechseln, oder an das Wohnhaus, welches an dem Orte der Seuche kein anderes ist, als in einer seuchenfreien Stadt. Der Boden und alles, was mit demselben in Verbindung steht, dies sind spezielle und konstante Eigenschaften der von der Krankheit ergriffenen Oertlichkeit, hierin wird also der denkende Mensch auch den Ursprung des Uebels zu finden suchen.

Und obschon es sowohl in alten als auch in jüngeren Zeiten gelehrte Männer gab, welche die Ursachen der Seuchen im Groll der Götter, in aus dem Weltall herabgefallenen Substanzen (Demokrit), im Staub der äquatorialen Winde, in der Luft u. a. m. vermuteten, so war doch auch die Ueberzeugung fortwährend rege, daß die Hauptrolle dem Boden zufällt, zumindest in der Erzeugung gewisser Epidemien. Darum genoß auch der Boden fortwährende Beachtung.

Man kann nicht bestimmt behaupten, daß die bekannte Verordnung Mosis, wonach der Mensch seine Notdurft außerhalb des Lagers, in der Wüste in einer frisch ausgehöhlten Grube verrichten und diese nachher zugraben soll, auf hygienischen Erfahrungen und Voraussetzungen fußte; ob Moses dem mit menschlichen Exkrementen verunreinigten Boden Schäden für die Gesundheit beimaß, oder seine Verordnung bloß auf ästhetische Gründe basierte, oder vielleicht die Reinlichkeit von Haustieren (Katzen) für nachahmenswert hielt, welche ihre Fäkalien gleichfalls in frische Gruben verscharren. Immerhin konnte das fragliche Religionsgesetz auf den Reinlichkeitssinn der Juden und nicht minder auch auf die gesunde Beschaffenheit des

Bodens und der Luft in ihren Lagerstätten von wesentlichem Einfluß sein; denn die mit Sand bedeckten Fäkalien verloren allen üblen Geruch, konnten nicht zerstäuben und in die Luft gelangen, und die Infektion des Bodens auf einem beschränkten Raum, welche bei Völkern von minderer Reinlichkeit als die Juden in der Umgebung von Wohnplätzen vorkam und auch heute noch vorkommt, war vermieden.

Der größte Arzt des Altertums, Hippokrates, ermahnt die Aerzte, auch dem Erdreich ihre Aufmerksamkeit zu schenken. Als besonders schädlich bezeichnet er die tief und dumpf gelegenen Lokalitäten, hingegen die erhöht und warm gelegenen als gesund[2]. Herodot aber äußert sich dahin, daß kranken Orten auch kranke Menschen entstammen.

Dem erobernden, kolonisierenden Römervolk war die hygienische Bedeutung der Bodenarten und Lokalitäten sehr wohl bekannt; die neuen Ansiedler verabsäumten daher auch niemals, über die gesundheitlichen Eigenschaften der Lokalität ihre Auguren und Priester zu befragen, die ihre Meinung durch Obduktion des an den betreffenden Orten vorgefundenen oder gezüchteten Viehes, aus dem Zustand von Leber und Milz abgaben[4].

Vitruvius hat in seinem Werke über die Architektur geraten, die hygienischen Eigenschaften des Baugrundes in erster Reihe zu berücksichtigen[5]. Galen wieder hat vor den tief gelegenen, Inundationen ausgesetzten Gründen besonders gewarnt[6]. Ein verunreinigter Boden (fundus pestilens) konnte im Sinne des römischen Rechtes vom Käufer dem Verkäufer zurückgegeben werden, denn ein solcher wurde wegen Geruch und Ausdünstung für unbewohnbar gehalten (J. P. Frank). Nach Quintilian entstehen die Pestilenzen „. . . . ira Deum, aut noxio terrae halitu . . . ." Varro[7] hat sogar die Ursache der Fieber im Boden, nämlich im Sumpfschlamm gesucht, wo, wie er meinte, winzig kleine, unsichtbare Käferchen entstünden, die in die Luft auffliegen und unbemerkt eingeatmet werden. Bischof Evagrius fand es (wie vor ihm schon Thukydides) für auffallend, daß einzelne Städte oder Stadtteile von der Pest sichtlich verschont blieben oder im Gegenteil stark ergriffen wurden, und er hebt die Beobachtung hervor, daß an manchen Orten wohl zugereiste Kranke an der Pest sterben können, die Seuche aber hier trotzdem nicht um sich greifen wird (Haeser)[8]. Der arabische Schriftsteller Ibn Batouta hebt besonders hervor, daß der „schwarze Tod" mehrere Städte — so Maara el Nooman in Syrien, Schizour, Harsem in Mesopotamien — vollständig verschont hat (Haeser).

In der Epoche der großen Entdeckungsreisen, als man tropische Gegenden zu kolonisieren anfing, erwachte aufs neue die Erkenntnis, daß die Bodenverhältnisse für den Gesundheitszustand der neugegründeten Gemeinden von hervorragender Bedeutung sind. Lind schildert in seinem Werke über die Tropenkrankheiten die Erkennungszeichen der ungesunden Lokalitäten (mit feinem, weißem Flugsand bedeckte Stellen seien ganz besonders gefährlich), und hebt den wesentlichen Einfluß eines verunreinigten, zeitweise durchfeuchteten Bodens auf Epidemien und Pestilenzen besonders hervor. Um den Epidemien zu entgehen, hält er es für das Beste, wenn die Bewohner zu gefährlichen Zeiten den ungesunden Ort verlassen, ferner wenn sie sich aus solchen Anlässen vom Festland auf Schiffe oder Barken flüchten[9].

Petronius, der im XV. Jahrhundert schrieb, hielt die Verunreinigung des Bodens durch Kloaken und Latrinen für gesundheitsschädlich, weil der verunreinigte Boden das Wasser infiziert, und er hielt auch einen hohen

Wasserstand im Boden für schädlich, weil dadurch der Boden feucht erhalten und Nebel erzeugt wird, welcher die Stadt bedeckt [10]. J. P. Frank schreibt, daß in Wien die „Tiefer Graben“ benannte, tief gelegene Gasse die ungesundeste sei. Lancisi suchte die Ursache der Malaria im tief gelegenen, verunreinigten und feuchten Boden; dagegen hielt er das Erbauen der Wohnhäuser auf erhöhten Punkten für gesund [11]. Sinclair lehrte, daß Sümpfe nur auf lehmigem Boden Malaria erzeugen; auf Torfboden komme die Malaria nicht, und auf kalkhaltigem Boden überhaupt keine Epidemie zur Entwickelung, weil die in einer septischen Säure bestehenden Infektionsstoffe durch Kalk absorbiert werden [12]. Sydenham meinte, die Epidemien „.... ab occulta potius et inexplicabili quadam alteratione in ipsis terrae visceribus pendent, unde aër eiusmodi effluviis contaminatur, quae humana corpora huic aut illi morbo addicunt determinantque“ [13]. Alibert hat sogar einen Apparat zur Untersuchung dieser dem ausgetrockneten und dann durchfeuchteten Boden entströmenden Dämpfe in Vorschlag gebracht [14]. Linné schreibt: „... ubi febres intermittentes grassantur semper etiam argillam observavi ...“ [15]. Hasper beschreibt mehrere Städte, wo perniciöse Fieber vorherrschen und sucht die Ursache in der tiefen Lage, dem lehmigen und verunreinigten Boden [16]. Bartels läßt die perniciösen Fieber (Typhus, Malaria, Gelbfieber, Influenza u. a.) aus einem „miasma terrestre“ entstehen, welches durch einen verunreinigten Boden erzeugt wird [17].

Die übrige einschlägige Litteratur [18] übergehe ich und lasse auch den Kropf, die Steinkrankheit und andere Leiden, deren Aetiologie auch heute noch in ein tiefes Dunkel gehüllt ist, obgleich deren Verbreitung schon von älteren Aerzten den Bodenverhältnissen zugeschrieben wurde, beiseite, will jedoch noch hervorheben, daß man die Cholera schon bei ihrem ersten Auftreten in diesem Jahrhundert aufs bestimmteste mit den Bodenverhältnissen in Verbindung brachte. Die englischen Aerzte in Indien hatten in ihren ersten, von Theorien nicht beeinflußten Diskussionen die Cholera mit den malarischen Fiebern verglichen, an welchen sie gleichfalls beobachtet hatten, daß sie zu bestimmten Zeiten gewissermaßen aus ihrer endemischen Natur herauswachsen und zu allgemeinen Epidemien, Pandemien werden [19]. Nach Eckstein nimmt in der Reihe der aus Sumpfmiasma entstandenen Krankheiten das Wechselfieber die unterste, die Cholera hingegen die höchste Stufe ein [20]. Des weiteren führt er aus, daß die epidemische Verbreitung der Cholera abhängig sei: 1) von der Lage der Ortschaften neben Flüssen, auf Moorboden, am Fuß niedriger Hügel etc.; 2) von der heißen Witterung, wenn diese mit kalten Nächten einhergeht; 3) von gewissen Gesundheitszuständen der Individualität. Zu einer epidemischen Ausbreitung der Cholera bedarf es einer gewissen Bereitschaft des Bodens; ohne diese mag die Cholera eingeschleppt werden und sie wird sich doch nicht ausbreiten.

Als ob man Pettenkofer hören würde, gerade so klingen die Erörterungen Eckstein's!

Hierauf haben Steinheim, Heilbronn, Boubée, Fourcault u. a., auf Grund von Erfahrungen aus den Epidemien in den Jahren 1832 und 1848, den Einfluß der geologischen Verhältnisse und der physikalischen Gestaltung des Bodens auf die epidemische Verbreitung der Cholera verfochten [21], während Farr, Baly und Gull und andere das Hauptgewicht nicht so sehr auf die geologischen Ver-

hältnisse, sondern darauf legten, ob die Oertlichkeit von tiefer und feuchter oder von hoher und trockener Lage ist[22].

Die vorstehend citierte Litteratur beweist, daß alle die Geistesgrößen und Aerzte, welche ihre Beobachtungen auch auf die freie Natur ausdehnten, von den ältesten Epochen bis auf unsere Tage, zu allen Zeiten dem Boden in der gesamten gesundheitlichen und physikalischen Entwickelung des Menschen, insbesondere aber in der Aetiologie der die Menschheit verheerenden Epidemien eine wichtige Rolle beilegten. „L'homme est l'expression du sol sur lequel il vit", sagt zutreffend Mayenne[23].

Die citierten Autoren haben aber hauptsächlich die geologische Formation, die Konfiguration der Oberfläche, das Material, endlich die Imbibition des Bodens mit Wasser und mit organischen Substanzen ins Auge gefaßt, jedoch in ein gründlicheres Studium der Bodenverhältnisse nicht eindringen können, weil sie das Experiment zur Feststellung der im Boden obwaltenden hygienischen Faktoren nicht herbeiriefen. So ergehen sich die aus dieser Zeit stammenden hygienischen Lehrbücher bloß in allgemeinen Phrasen über den Einfluß des Bodens auf die menschliche Gesundheit und auf Epidemien, sowie über die Art dieses Einflusses und seine Ursachen; höchstens daß sie der Geologie einige Begriffe und Kunstworte zur Bezeichnung und Benennung des gesunden und ungesunden Bodens entlehnen.

Eine neue Aera in der Bodenhygiene — wie auf dem Gesamtgebiet der Hygiene — hat erst Pettenkofer mit seinen Werken über die Cholera in Bayern im Jahre 1855[24] eröffnet, und besonders mit seinen Ausführungen auf der Cholerakonferenz zu Weimar i. J. 1867[25] das allgemeine Interesse erweckt. Von diesem Zeitpunkt an kann die moderne, experimentelle Behandlung der Bodenhygiene datiert werden. Pettenkofer und seine Schüler im hygienischen Institut der Universität München, Gleichstrebende in ganz Europa, ja sogar auf dem Schwesterkontinent in Amerika machten sich mit Eifer an die Erforschung der Bodenverhältnisse. Der örtliche und der zeitliche Verlauf der Infektionskrankheiten wurde festgestellt. Man fing an sich für die Bodentemperatur, besonders in den oberflächlichen Bodenschichten zu interessieren; der von der geologischen Formation so wenig abhängige Aggregatzustand der verschiedenen Bodenarten wurde untersucht, dann das im Boden verborgene Grundwasser und die Bewegungen dieses mobilen Bestandteiles; man trachtete auch mit dem „terrae halitus", der Grundluft genauer bekannt zu werden und wurde auf die Verunreinigung des Untergrundes durch Abortgruben aufmerksam.

Endlich ermöglichten die von R. Koch erdachten Methoden das Vordringen und das Verhalten der Mikroorganismen im Boden Schritt für Schritt zu verfolgen.

Diesen Forschungen kamen die Fortschritte der Geologie, die rege Thätigkeit auf den Gebieten der Agrikultur-Chemie und -Physik zu statten, sowie andererseits Geologen, Agrikulturchemiker und Techniker, mit den Aerzten Hand in Hand vorgehend, unsere Kenntnisse über Chemie und Physik des Erdbodens in einer

Richtung vertieften, welche auch für die Spezialfragen der Hygiene von fruchtbringender Wirkung war*).

Dies der Entwickelungsgang der heutigen Bodenhygiene.

Man darf aber nicht glauben, daß das, was wir heute von den hygienischen Verhältnissen des Bodens wissen, uns hochmütig machte oder machen dürfte. Sind wir ja doch kaum am Anfang der Erkenntnis, liegt doch noch ein ganzes Reich des Unbekannten oder zumindest Ungewissen, ein wahrhaft „dunkelster Weltteil“ vor uns. Das Hauptergebnis der bisher geleisteten Arbeit besteht nur darin, daß die Richtungen und Wege erkannt sind, auf welchen zur Erforschung des unbekannten Gebietes vorgedrungen werden muß. Der Fortschritt, den unsere Kenntnisse machten, ist immerhin ein sehr langsamer und in den letzten Jahren ein ganz besonders geringer. Die Ursache hierfür liegt allerdings klar genug. Teils eröffnete sich in anderen Richtungen ein wichtiges Forschungsgebiet, nämlich das unermeßliche Gebiet der experimentellen Bakteriologie, welches die besten Arbeitskräfte für sich in Anspruch nahm; andernteils waren die der Ausführung von Bodenstudien entgegentretenden physikalischen und finanziellen Schwierigkeiten von deprimierender Wirkung. Um erfolgreich zu sein, müssen Bodenstudien sich in einem sehr weiten Rahmen bewegen, sie müssen den Untergrund ganzer Städte und noch größerer Gebiete mit allen seinen Verhältnissen umfassen und in langwierigen mühevollen Beobachtungen bestehen. Einer solchen Arbeit ist der einzelne Forscher oder ein wissenschaftliches Institut nicht gewachsen. Daher die Schmerzensrufe und bitteren Vorwürfe der Hygieniker gegen Staat und Gesellschaft, welche für Beobachtung entlegener Weltkörper oder um ein jedes noch so launische Symptom des flüchtigen Luftkreises zu erhaschen, gigantische Institute bauen oder kostspielige Expeditionen ausrüsten, dabei aber den Erdboden unter unseren Füßen kaum der Beachtung würdigen, obschon dieser mit seinem Leben, seinen unausgesetzten Zersetzungsprozessen, seinem noch immer unbekannten „halitus“ oft ganze Generationen auf einmal hinwegrafft, den blühendsten Handel und das Eigentum gefährdet, und uns alle, die an ihn gefesselt, auf und mit ihm leben müssen, an Gesundheit und Leben bedroht.

Doch auch auf dem Gebiete der Bodenhygiene, wie auf so vielen anderen, vermag die Praxis auch ohne theoretisches Wissen Erfolge aufzuweisen. Dann hinkt die Theorie einfach nach und schmückt die praktischen Ergebnisse nachträglich mit Erklärungen, welche unseren Kausalitätstrieb befriedigen. So hat die Assanierung der Ortschaften trotz fehlender Theorie brauchbare Resultate aufzuweisen, und wenn man auf den durch die Praxis als richtig erkannten Wegen fortschreiten wird, kann man auch auf weitere Erfolge rechnen. Und wie der therapeutische Teil der medizinischen Wissenschaften durch die Semmelweiss'sche Asepsis und durch Lister's Antisepsis eine neue und mächtigere Gestalt gewann, so

*) Die Hygiene wird immerdar mit Dank der Arbeiten gedenken, mit welchen Fleck, Wollny, Nägeli, Ebermayer, Süess, Frankland, Nichols, Schloesing, Muentz, Délesse, Dehérain, Mayer u. a. die schwierigen Probleme und verborgenen Geheimnisse der Bodenhygiene zu erforschen suchten.

wird auch die Gesundheit unseres Wohnungsbodens und dadurch die öffentliche Gesundheit, durch die Pettenkofer'sche Aseptik, resp. Antiseptik neu geschaffen werden.

Ich schließe mit dem Ausspruch: Alles, was die Bodenhygiene an theoretisch Wissenschaftlichem und praktisch Nützlichem aufzuweisen hat, verdanken wir Pettenkofer, dessen klarem Geiste und rastlosem Arbeitseifer die hygienischen Geheimnisse des Bodens sich zuerst enthüllten.

Es ist nicht möglich, in eine Darlegung der modernen Bodenhygiene einzutreten, ohne vorher dem großen Verdienst eines Pettenkofer jenen Tribut zu zollen, welchen ihm alle Hygieniker entrichten, wo immer auf dem Erdenrund sie ihre Heimat haben mögen.

Und hiermit gehe ich an die spezielle Darlegung der Bodenhygiene, die in folgende Abschnitte zerfällt:

1) Konfiguration, Material und Struktur des Bodens unter den menschlichen Wohnungen.
2) Temperaturverhältnisse des Bodens.
3) Feuchtigkeitsverhältnisse und Grundwasser.
4) Grundluft.
5) Die Bodenverunreinigung und deren Zersetzungsvorgänge mit ihren Ursachen, den Bakterien; anknüpfend wird der Einfluß des Bodens auf die Gesundheitsverhältnisse erörtert. Endlich
6) unsere Kenntnisse über die Assanierung des Bodens.

Zum Schluß sollen die Methoden der hygienischen Bodenuntersuchung kurz gewürdigt werden. Wegen Ausführlicherem hierüber muß — im Sinne der prinzipiellen Bestimmungen dieses Handbuches — auf die spezielle Fachlitteratur verwiesen werden.

1) *Vergl.* J. P. **Frank**, *System einer vollständ. med. Polizei*, *Mannheim* (1804) 3. *Bd.* 360. 371 *u. a.*
2) Περὶ ἀέρων, ὑδάτων, τόπων, *herausgegeb. von* **Van der Linden**, *Leyden* (1855) 1. *Bd.* 328.
3) *Vgl.* **Boudin**, *Traité de géographie et de stat. méd.*, *Paris* (1857) 1. *Bd.* 70.
4) *Vgl.* **J. P. Frank**, *a. a. O.* 757.
5) *De architectura*, *übersetzt von* **Rode**, *Berlin* (1860) 1. *Bd. Kap.* 4.
6) **Isensee**, *Gesch. d. Med.* 6. *Bd.* 1578.
7) *De re rustica* 1. *Bd.* 12.
8) *Lehrb. d. Gesch. d. Med.*, *Jena* (1876) 3. *Bd.* 46—50.
9) *Krankheiten der Europäer in warmen Ländern. Aus dem Englischen. Riga* (1792) 149 *ff.*
10) *Vortrag von Prof.* **Langer**, *Wien. med. Rundschau* (1875) 451.
11) *De nox. palud. effluviis*, *Romae* (1717).
12) *Handb. d. Gesundheit, aus d. Engl. von* **Sprengel**, *Amsterdam* (1808) 49.
13) *Opera omnia*, *Genevae* (1757) 1. *Bd.* 22.
14) *Traité des fièvres pernicieuses intermittentes*, *Paris*, *An XII* (1804).
15) *Vgl.* **J. Ch. M. Boudin**, *Traité de geogr. et de statist. médicales* (1857) 1. *Bd.* 79.
16) *Krankheiten der Tropenländer*, *Leipzig* (1831) 2. *Bd.* 202.
17) *Die gesammten nervösen Fieber*, *Berlin* (1837) 230 *ff.*
18) *Vgl. in* **A Hirsch's** *Handb. d. hist. geogr. Pathologie*, *Stuttgart* (1881—83) *die reichhaltige Litteratur in den einschlägigen Kapiteln*; *ferner* **Boudin**, *a. a. O.*; **Barker**, *On Malaria and Miasmata. London* (1863) 4; **Villermé**, *Ann. d'hyg. publ.* (1834) 351; **Fonssagrives**, *Hygiène et assainissements des villes*, *Paris* (1874); **Begin**, *Bull. acad. méd.* (1845) 1069; **Jacquot**, *Ann. d'hyg. publ.* (1855, 1857) *etc.*
19) *Vgl.* **Jameson**, *Report on the Epidemic cholera-morbus*, *Calcutta* (1820); **Annesley**,

Treatise on the Epidemic cholera of India, London (1829). *Insbesondere s. die erste Cholera-Litteratur im Auszug bei* **Marx**, *Die Erkenntnis des Verhaltens und Heilv. d. ansteckenden Cholera, Karlsruhe* (1831); *desgl.* **A. Hirsch**, *op. s. cit.*

20) *Die epidemische Cholera beobachtet in Pest, Pest u. Leipzig* (1832).

21) *S. die Litteratur ausführlicher bei* **Fodor**, *Hygien. Untersuchg. über Luft, Boden und Wasser, Braunschweig* (1881—82), 2. *Bd.* 9 *u. ff.*

22) *Registrar General's Report on the Mortality of the Cholera* 1848/49. — *Report of the Committee for Scient. Inqu.* (1855).

23) *Elem. de statist. méd., Bruxelles* (1859).

24) *Untersuchungen und Beobachtungen über die Verbreitungsart der Cholera, München* (1855); *ferner: Hauptbericht über die Verbreitungsart der Choleraepidemie des Jahres* 1854, *München* (1857).

25) *Verhandlungen der Cholerakonferenz in Weimar* (1867), *München, Oldenbourg.*

ERSTES KAPITEL.

Die Struktur des Bodens.

1. Geologische und hygienische Beurteilung des Bodens.

Wie die Gesamtmedizin die Methoden und Errungenschaften der Chemie und Physik einfach zu übernehmen und zum Aufbau der eigenen Disziplin zu verwerten bestrebt war, so benützte auch die Hygiene bei der Feststellung der hygienischen Eigenschaften des Bodens die Systeme und Klassifikationen der Geologie. Infolgedessen wurde in einem verseuchten Orte das hauptsächliche Augenmerk auf die Bestimmung der geologischen Formation gerichtet und aus dem Ergebnis auf die hygienische Wirkung der gefundenen Formation gefolgert. So war dann zu lesen, daß die Cholera auf dem Alluvial- und Tertiärboden vorherrschend, dagegen auf älteren Formationen, auf mittlerem und oberem Sandstein selten —, daß ein vulkanischer Boden gegen Kropf immun, der Thonschiefer hingegen dazu disponiert sei[1].

Die Erfahrung hat dieses Vorgehen alsbald als irrtümlich und unrichtig erwiesen. Die Geologie trachtet nämlich festzustellen, in welcher zeitlichen Folge gewisse Schichten der Erdkruste zustande gekommen und wie dieselben hinsichtlich der Bildungsart untereinander übereinstimmen oder verschieden sind. In beiden Hinsichten klassifiziert die Geologie auf Grund der Vergangenheit, des Ursprungs und der Entstehung, wobei der heutige Zustand, namentlich aber Material und Aggregatzustand der Erdkruste außer acht gelassen werden. Demgegenüber ist für die Hygiene dasjenige von Interesse, was im Boden lebt, sich verändert oder zur Veränderung den Anstoß giebt, also in erster Reihe die Verunreinigung, resp. die Möglichkeit, verunreinigt oder mit Schmutz imprägniert zu werden, ferner das wechselnde Verhalten des Bodens zum Wasser, zur Luft und zur Wärme. In dieser Hinsicht aber können aus der Formation des Bodens keinerlei Aufschlüsse gezogen werden, da alle diese Verhältnisse nur sehr entfernt miteinander zusammenhängen oder übereinstimmen, daher sind auch die geologischen Systeme und Formationen in der Hygiene nur mit geringem Nutzen verwertbar.

Bessere Aufschlüsse lassen sich für die Erkenntnis jener hygienischen Faktoren aus der petrographischen Untersuchung und

Beschreibung der Erdkruste gewinnen, da hier Material und Struktur der die Erdkruste bildenden Gesteine Berücksichtigung finden.

Im petrographischen Charakter kommt schon die derzeitige Konfiguration, das Material und die Struktur der Bodenoberfläche zum Ausdruck, obschon auch diese nicht streng und konsequent. So werden die Massengesteinsböden (Granit-, Trachytböden u. a.) wohl allgemein eine hügelige, wellige, minder zerklüftete Oberfläche, sowie eine kompakte und undurchlässige Struktur, die Schichtgesteine hingegen im großen Ganzen eine mehr zerklüftete, unebene Oberfläche, mit rasch wechselnder Struktur, Permeabilität, Neigung etc. anzeigen. Doch kann, wie bekannt, z. B. der Granit durch Spaltbildung und Verwitterung Partien von verschiedener Festigkeit und Durchlässigkeit auch an nahe zu einander gelegenen Stellen aufweisen, während andererseits mehrere plastische Schichtgesteine, wie z. B. die Thonschiefer, einen aus Granit bestehenden Untergrund sowohl an Elevation der Oberfläche, als an innerer Festigkeit und Undurchlässigkeit übertreffen können; es mag sogar jener zerklüftete und verwitterte Granitboden an einzelnen beschränkteren Stellen hinsichtlich der in hygienischer Beziehung gerade wichtigsten Eigenschaften selbst von dem einfachsten Lehmboden übertroffen werden.

So wird es verständlich, daß man beim Studium und bei der Beurtheilung hygienischer Eigenschaften des Bodens sich nicht mit der Konstatierung der geologischen oder petrographischen Formationen allein begnügen darf. Die Hygiene durchmustert vielmehr alle verschiedenen Bodenarten und bodenbildenden Gesteine der Reihe nach und prüft dieselben auf die in hygienischer Beziehung wichtigen Eigenschaften, nämlich auf die Permeabilität für Wasser, Schmutz und Luft, dann auf ihr weiteres Verhalten gegen diese Stoffe und gegen Wärme. Sie übernimmt wohl von der Geologie die Benennung und Klassifikation der bodenbildenden Gesteine und Bodenarten, ist aber auch selbst bestrebt, deren „hygienische“ Eigenschaften festzustellen.

2. Klassifikation der Bodenarten.

Die Erdkruste besteht vorwiegend nur aus wenigen Elementen und deren Verbindungen. Folgende ihrer Häufigkeit nach geordnete 16 Elemente bilden 99 Proz. der Erdkruste [2]:

Metalloide	Metalle
Sauerstoff (O)	Aluminium (Al)
Silicium (Si)	Calcium (Ca)
Kohlenstoff (C)	Magnesium (Mg)
Schwefel (S)	Kalium (K)
Wasserstoff (H)	Natrium (Na)
Chlor (Cl)	Eisen (Fe)
Phosphor (P)	Mangan (Mn)
Fluor (Fl)	Baryum (Ba)

Die genannten Elemente kommen als Mineralbildner entweder als solche (wie Schwefel, Kohle), oder hauptsächlich in folgenden Verbindungen vor:

Kieselsäure (rein aus Quarz) und die Verbindungen der Kieselsäure mit Thonerde, Kalk, Magnesia, Kali, Eisen;

Kohlensäure in Verbindung mit Kalk, Magnesia, Eisen;
Schwefelsäure in Verbindung mit Kalk;
Chlor als Chlornatrium;
Phosphorsäure in Verbindung mit Kalk;

Aus den gedachten Mineralbildnern und deren Verbindungen gehen bodenbildende Mineralien hervor; die wichtigsten sind, mit den einfachen Mineralien beginnend, die folgenden:

1) Graphit, reiner Kohlenstoff, häufig verunreinigt. Bildet selten Gesteine von großer Ausdehnung.

2) Schwefel. In Verbindung mit Vulkanen.

3) Steinsalz, in ganz reinen Massen (Staßfurt, Wieliczka, Maros-Ujvár, Mármaros) oder mit anderen Gesteinen (Thon) vermengt, wo dann das Salz durch Auslaugen gewonnen wird (Hall, Reichenhall, Sóvár).

4) Pyrit, Schwefelkies, Doppelschwefeleisen.

5) Markosit, nur durch die Art der Krystallisation von Pyrit verschieden.

6) Limonit, Brauneisenstein, Eisenoxydhydrat.

7) Magnetit, Eisenoxyduloxyd.

8) Quarz, mit äusserst zahlreichen Spielarten: Bergkrystall, Amethyst, Achat u. s. w.

9) Opal, Siliciumbioxyd mit etwas Wasser.

10) Kaolin, Aluminiumhydrosilikat. Bildet die Thone.

11) Orthoklas, Kaliumfeldspat (Monoklin).

12) Plagioklas, Natrium-Calciumfeldspat (Triklin).

13—14) Leucit und Nephelin, Kalium- und Natriumsilikat.

15) Glimmer, in elastische Lamellen spaltbare Silikate. Muskowit oder Kaliumglimmer, weißlich, Biotit oder Magnesiumglimmer, dunkel u. s. w.

16) Turmalin, dunkel gefärbtes, kompliziert zusammengesetztes Silikat.

17—18) Granat und Epidot, rot und grün gefärbte Silikate.

19) Chlorite, glimmerähnliche, wasserhaltige Silikate von Magnesium, Eisen, Aluminium.

20—21) Amphibole oder Hornblenden, Augite oder Pyroxene, Kalk-, Magnesiasilikate, oft mit Eisenoxyd und Thonerde, ohne Wasser.

22—24) Olivin oder Peridot, harte, olivengrüne, eisenhaltige, Serpentin, schwärzliche, dunkelgrüne, Talk, grünlich-weisse, weiche, leicht spaltbare ähnliche Silikate des Magnesiums, mit Wasser.

25) Calcit, Kalkspat, Kalkkarbonat.

26) Dolomit, Bitterspat, Kalk-Magnesiakarbonat.

27—28) Gips und Anhydrit, wasserhaltiges resp. wasserfreies Calciumsulfat.

Aus diesen wenigen Mineralien oder Gesteinbildnern sind hauptsächlich die die Erdrinde bildenden Gesteine und Gesteinstrümmer zusammengesetzt.

Von den zahlreichen Systemen, in welchen die Gesteine und die Gesteinstrümmer von den Geologen angeordnet werden, sei im Folgenden zunächst das von Credner befolgte angeführt.

I. Einfache Gesteine: Eis, Chlorid-, Nitratgesteine (Steinsalz, Salpeter), Sulfatgesteine (Gips), Phosphatgesteine, Karbonatgesteine (Kalkstein, Dolomit, Spateisenstein), Kieselgesteine (Quarz, Quarzitschiefer, Quarzsandstein), Silikatgesteine (Schiefer, Serpentin), oxydische

Erzgesteine (Braun-, Rot-, Magneteisenstein), Kohlengesteine (Torf, Kohle, Graphit, Asphalt, Petroleum).

II. Gemengte kristalline Gesteine und zwar: a) massige Gesteine (Granit, Granitporphyr (Quarzporphyr (Felsitp.), Syenit, Trachyt, Nephelinsyenit, Diorit, Gabbro, Diabas, Basalte, Olivingesteine); b) geschichtete Gesteine (Gneiß, Glimmerschiefer u. s. w.).

III. Trümmer- (klastische) Gesteine und zwar: a) lose Haufwerke (Sand, Kies, Gerölle, vulkanische Asche); b) Sandsteine, Konglomerate, Breccien; c) Thongesteine (Kaolin, Thon, Lehm, Löß, Mergel, Schiefer, Thonschiefer); d) Tuffe.

Vielleicht noch übersichtlicher ist das folgende System, welches auch ich als Grundlage für die eingehendere Beschreibung der Gesteine gewählt habe, weil es von Hygienikern (wie Soyka u. A.) und von hygienischen Lehrbüchern bevorzugt zu werden pflegt.

Die Gesteine sind: I. Massengesteine, II. Schichtgesteine.

I. Massengesteine.

Massige, ungeschichtete Gesteine, vulkanischen Ursprungs. Struktur krystallinisch, körnig oder glasig. Hart, impermeabel, jedoch an der Oberfläche und längs der Spaltungen (Lithoklase) der Verwitterung sehr unterworfen. Selten in größerer Flächenausdehnung. Oberfläche meist bergig.

1) Granit-Porphyrfamilie (Granit, Syenit, Felsit- oder Quarzporphyr, Porphyrit u. s. w.). Plutonische, altvulkanische Gesteine. Bestehen aus krystallinisch körnigen Gemengen von Quarz, Feldspat und Glimmer. Kieselsäure 70—80 Proz.

2) Grünsteinfamilie (Diorit, Diabas, Gabbro, Augitporphyr, Melaphyr u. s. w.). Plutonische Gesteine. Quarz, Feldspat (Plagioklas) mit Hornblende oder Augit. Kieselsäure 45—70 Proz.

3) Trachytfamilie (Quarztrachyt oder Rhyolith, Trachyt, Andesit, Propylit, Trachytpechstein oder Perlit, Bimstein u. s. w.). Neuvulkanische oder Lavengesteine. Von granitähnlicher chemischer Zusammensetzung, jedoch mit körniger Struktur oder glasig. Kieselsäure 65—80 Proz.

4) Basaltfamilie (Feldspatbasalt, Nephelinbasalt, Leucinbasalt, Limburgit. Trapp. — Dolerit = großkörniger, Anamesit = kleinkörniger Basalt). Lavengesteine. Bestehen aus Augit, Plagioklas, Olivin u. a. Kieselsäure 40—50 Proz.

5) Serpentingesteine, Olivingesteine u. s. w.

II. Schichtgesteine.

Sind Ablagerungen, oft von großer Flächenausdehnung und Mächtigkeit. Oberflächen-Formation, Struktur sehr variabel. Sie werden eingeteilt: a) in nichtklastische Schichtgesteine, mit einheitlicher oder gemengter Mineralsubstanz, und b) in klastische Schichtgesteine: Substanz aus Gesteinstrümmern.

a) Nichtklastische Schichtgesteine.

Einfache nichtklastische Schichtgesteine, **aus einer** Mineralsubstanz geschichtet:

Eis, Steinsalz, Salpeter, Phosphorit, Eisensteine, Kieselgesteine, Quarcit, Q.-Schiefer, Graphit, Kohle, Torf, Bitumen, Petroleum u. s. w.

Kalkstein; kohlensaurer Kalk, Kalkspat. — Körnig = Marmor; dicht = gemeiner Kalkstein. Härte 3. Mit dem Federmesser ritzbar. Mit kalter Salzsäure stark aufbrausend und darin löslich. Oft mit Thon verunreinigt. Kreide, Korallenkalk, Kalktuff oder Travertin (Quellenablagerung) u. s. w. — Permeabilität äußerst variabel.

Dolomit, kohlensaurer Kalk (54,3 Proz.) und kohlensaure Magnesia (45,6 Proz.). Härte etwas größer als die des Kalksteines. In kalter Salzsäure schwach aufbrausend und schwer löslich, in warmer stark aufbrausend und leicht löslich. — Permeabilität meistens gering.

Gips und Anhydrit, schwefelsaurer Kalk. Gips mit dem Nagel ritzbar; Härte 1,5—2; Anhydrit bedeutend härter (3—3,5). Mit Säure nicht aufbrausend. In 400 Teilen kaltem Wasser löslich. In der wässerigen Lösung Schwefelsäure mit Chlorbaryum nachzuweisen. Alabaster.

Schwerspat, Baryumsulfat.

Zusammengesetzte (gemengte) nichtklastische Schichtgesteine, ein Gemenge **mehrerer** Mineralien, geschichtet. Die Mineralbestandteile (mit Lupe) mehr oder weniger erkennbar.

Gneiß, — besteht aus denselben Mineralien wie Granit, nur sind diese in Lagen, schieferig angeordnet. Muscovitgneiß, Biotitgneiß u. s. w.

Glimmerschiefer, — Quarz und Glimmer, oft mit Granaten. Diabas-, Gabbroschiefer u. s. w.

Thonglimmerschiefer, Phillite, glimmerige Thongesteine, in welchen die Bestandteile mit Auge oder Loupe kaum mehr erkennbar.

Granulit, Pyroxengranulit, Trappgranulit, Hälleflinta, Porphyroid-, Turmalinschiefer u. s. w. Die zusammengesetzten krystallinischen Schiefergesteine sind bezüglich ihrer Oberflächenformation, Struktur, Härte, Impermeabilität u. s. w. oft den Massengesteinen ganz ähnlich.

b) Klastische Schichtgesteine.

Sie bestehen aus der Wiederablagerung von Trümmern mechanisch zerkleinerter, verwitterter und zersetzter älterer Gesteine. Sie sind bald nur lose aufeinandergehäuft oder auch mehr oder weniger cementiert.

1) Vulkanische Trümmergesteine: verkittete und lose Gesteinstrümmer vulkanischen Ursprungs; vulkanischer Sand, Asche, Rapilli, vulkanische Tuffe, Traß u. s. w. — Meistens porös und permeabel.

2) Durch Wasser gerollte (neptunische) Trümmergesteine, — und zwar:

Verkittete: Psephyte = verkitteter Schotter, — Breccie, aus eckigen Fragmenten, Konglomerat, Nagelfluh aus abgerundeten Fragmenten zusammengesetzt. — Gewöhnlich permeabel.

Psammite = zusammengekitteter Sand, Sandstein; Arkose (Feldspatsandstein), Grauwacke, Sandstein (thoniger, mergeliger, kalkiger S.). — Permeabel.

Pelite = erhärteter Schlamm. (Schieferthon, Thonschiefer:

Dachschiefer, Griffelschiefer, Wetzschiefer). — Wenig oder gar nicht permeabel.

Nicht verkittete: Schotter, Gerölle, nicht verkittete, großkörnige, durch Wasser gerollte Gesteinstrümmer. (Quarzschotter, Trachytschotter, Kalkschotter u. s. w.).

Thon, Letten = Rückstand der Verwitterung feldspatreicher Gesteine. Chemisch hauptsächlich ein wasserhaltiges Thonerdesilikat. Selten in größerer Flächenausdehnung. Oberfläche hügelig, jedoch ohne steile Gehänge, — oft auch flach. Konsistenz: trocken hart, feucht knetbar. Permeabilität äußerst gering. Reiner Thon mit Säure nicht oder wenig aufbrausend. Farbe weiß (Kaolin), wenn verunreinigt grau, blau, bräunlich, rot.

Mergel = kohlensauren Kalk enthaltender Thon. Konsistenz, Permeabilität dem letzteren ähnlich; Härte eventuell bedeutend. Mit Säure stärker aufbrausend. Farbe gelblich, gelbbraun, rotbraun.

Löß = sehr feinen Sand enthaltender, kalkiger, nicht fester Lehm. (Rheinthal, ungarische Niederung.) Lehm = sandhaltiger, etwas kalkiger, oft eisenschüssiger Thon. Aehnlich der Tegel.

Sand = mittel- und kleinkörnige, nicht verkittete Gesteinstrümmer. Quarzsand (nicht oder wenig aufbrausend), Kalksand (mit Säure stark aufbrausend).

Dammerde, Humuserde, Kulturboden = durch Kultur, wie auch durch natürliche Prozesse an pflanzlichen und tierischen Verwesungsprodukten bereicherte Varietät der vorerwähnten nicht verkitteten Trümmergesteine. Moorboden, Sumpfboden, Schlammboden.

Schuttboden. Durch Aufschüttung von industriellen, baulichen und Hausabfällen entstandener Boden.

3. Der Boden in Städten.

Nachdem im obigen die verschiedenen Bodenarten auf petrographischer Grundlage klassifiziert und in großen Zügen auch hinsichtlich ihrer Struktur, Konsistenz, Permeabilität für Wasser und Luft, und mit Rücksicht auf ihre chemische Zusammensetzung charakterisiert wurden, muß ich nochmals betonen, daß auch eine petrographische Klassifikation des Bodens von den in hygienischer Beziehung wichtigsten Eigenschaften desselben eine wahre und richtige Vorstellung zu bieten nicht vermag, und zwar nicht nur infolge der wechselnden hygienischen Eigenschaften ein und derselben Bodenart, sondern hauptsächlich auch darum nicht, weil die Bodenarten sowohl auf großen Gebieten, als insbesondere auch innerhalb derselben Stadt oder Landgemeinde in den einzelnen Teilen oder Straßen, ja sogar unter den einzelnen Häusern sehr veränderlich sein können. Es wurde bereits erwähnt, daß z. B. der Granitboden keine ausgedehnten, zusammenhängenden Gebiete bildet, sondern von Spalten durchsetzt ist, die mit Gerölle ausgefüllt sind. Letzteres ist nun im Vergleich zum Granit sehr locker und durchlässig. An anderen Stellen kann wieder der Granitfels mit einer aus solchem Gerölle bestehenden durchlässigen Schicht bedeckt sein, wodurch alle charakteristischen hygienischen Eigenschaften des Granits verloren gehen u. s. w. Dasselbe ist aber auch bei allen übrigen Bodenarten der Fall. Sowohl die Qualität, als mit dieser auch die hygienischen Eigenschaften des Bodens wechseln, selbst auf be-

schränkten Gebieten, sehr häufig. Es wird das aus der Betrachtung der Bodenverhältnisse in einigen Großstädten erhellen.

So zeigt z. B. Budapest ein wahres Schachbrett der verschiedenen Bodenarten. Die Festung am rechten Donauufer liegt hoch auf einer Kalktuffplatte, welche wohl unter einzelnen Häusern noch kompakt ist, sodaß Höfe und Keller Felsoberfläche haben, die Siele in Fels gehauen sind; das Nachbarhaus kann aber schon auf an organischen Abfällen reichem Schutt stehen. Die Christinenstadt, gleichfalls am rechten Ufer, aber weiter vom Fluß entfernt, erhöht gelegen, ruht auf Mergel. Das Donauufer hat in den oberen Strecken Kies und Grobsand, in den unteren Dolomit. Am linken Donauufer dehnt sich eine sandige Ebene aus, doch wechselt hier der reine, man könnte sagen jungfräuliche Sand von Straße zu Straße, ja beinahe von Haus zu Haus mit Schutt und Schlammboden, mit lehm- oder eisenhaltigen und mit moorigen Schichten ab.

Auch das Grundwasser sammelt sich dementsprechend an einzelnen Stellen der Stadt in unerreichbaren Tiefen an, an anderen hingegen tritt es, zuweilen sogar an den höchstgelegenen Stellen der Stadtteile am linken Ufer, frei zu Tage. Längs der Donau pflegt der Fluß bei Hochwasser in den Uferboden einzudringen; bei niedrigem Wasserstand hingegen wird das Grundwasser unter dem Stadtgebiet nach dem Fluß hin abfließen [3].

Von Lyon ist ähnliches zu lesen; ein Teil hat Granitboden, der übrige liegt auf Rhonekies, welcher von dem aus dem Fluß eingedrungenen Grundwasser frei durchsetzt, ausgespült, ausgelaugt und angeblich hierdurch gegen Seuchen geschützt wird [4].

Auch unter Wien ist der Boden sehr verschieden gestaltet. Die südlichen und westlichen Stadtteile und ein großer Teil der inneren Stadt liegen auf undurchlässigem Lehm (Tegel), welcher aber von ungleicher Mächtigkeit und zerklüftet ist, auch häufig mit dem sehr durchlässigen Schotter abwechselt; die nördlichen und besonders die östlichen Stadtteile mit dem die innere Stadt umgebenden Gebiet haben einen Boden aus permeablem Alluvial- und Diluvialkies [5]. Der undurchlässige Untergrund ist geneigt und läßt ein Stagnieren des Grundwassers nicht zu. Der Grundwasserspiegel fällt gegen die Donau zu ab, steht aber in den von der Donau entlegenen Stadtteilen oft näher (bis auf 5 Meter und weniger) zur Oberfläche, als in der Nähe der Donau. Bei Hochwasser pflegt das Donauwasser auch hier in den Untergrund der benachbarten Stadtteile einzudringen.

Auch München hat keinen einheitlichen Boden. Während links der Isar eine sehr mächtige Lage von sandigem Kies sich ausdehnt, wird der Boden am rechten Ufer (in der Vorstadt Haidhausen, die sich nach Pettenkofer gegen Cholera so verschieden verhält) teilweise von einem Lößhügel gebildet. Das Grundwasser wird entfernter von der Isar meist in größeren Tiefen angetroffen; näher zum Fluß steht es der Bodenoberfläche viel näher (bis auf 2,5 m). Dazu kommt noch, daß die undurchlässige Schicht an ihrer oberen Fläche einzelne Mulden und Hügel bildet, wodurch das Grundwasser an einzelnen Stellen gleichsam in unterirdischen Seen sich ansammelt und an anderen überhaupt fehlt [6].

Von allen Großstädten hat Berlin in hygienischer Beziehung

noch den einheitlichsten Boden. Die ganze riesige Ebene ist an der Oberfläche mit einer mächtigen Schicht Alluvialsand bedeckt, mit Kulturdetritus und Schutt vermengt; darunter liegt Wiesen- und Moorerde, häufiger Moorboden und Flußsand, sowie Bacillarienerde. Letztere, in Berlin Infusorienerde genannt, ist eine sehr interessante Bodenschicht, die größtenteils aus mikroskopischen, kieselschaligen, gegen die Oberfläche hin strichweise noch lebenden, zumeist aber abgestorbenen Organismen, den Bacillarien oder Diatomaceen besteht. Die Bacillarienerde enthält, neben Resten abgestorbener höherer Pflanzen, auch reichlich organische Substanz. Der größtenteils bereits in Fäulnis übergegangene Zellinhalt der Algen durchtränkt die ganze Schicht, daher der widrige, moderige Geruch der frisch erbohrten oder mit Wasser angerührten Masse und die oft bemerkte Entwickelung entzündlicher Gase aus derselben. Das Grundwasser in Berlin ist gegen die Spree hin geneigt und steht oft kaum 1,0 m unter der Oberfläche. Bei Hochwasser dringt die Spree in die benachbarten Gebiete des Untergrundes ein. Weiter vom Fluß entfernt nimmt auch der Abstand des Wasserspiegels von der Erdoberfläche zu [7].

In Paris ist der Boden — aus der Abbildung in Karrer's Werk zu urteilen — in seinen oberen, in hygienischer Beziehung in Betracht kommenden Schichten ebenfalls einheitlich. Obenauf liegt eine mächtige Schicht sandig-kiesiger Schutt und Kulturboden; unterhalb lehmiger Sand, dann eine mächtige Lehmschicht. Noch tiefer Gips- und Kreideschichten. Das Grundwasser fällt auch in Paris gegen den Fluß (Seine) hin ab, und der letztere pflegt bei Hochwasser unter die benachbarten Stadtgebiete einzudringen.

London hat im Gegensatz zu den letzthin beschriebenen Städten wieder einen sehr verschiedenen Untergrund, natürlich stets die in hygienischer Hinsicht in Betracht kommenden oberflächlichen Schichten verstanden. Den Thalgrund bildet ein dichter, plastischer, blauer Thon (London-clay), welcher aber an einzelnen Stellen von verschieden mächtigen Sand- und Kiesschichten überlagert ist (Bagshot-Sand), wodurch ein fortwährendes Abwechseln von durchlässigen und impermeablen Schichten entsteht. Dementsprechend wird an Stellen, wo der London-clay von durchlässigen Schichten bedeckt ist, das Grundwasser sich oberflächlich ansammeln und Brunnen speisen können; an anderen Stellen hingegen kann Wasser nur durch Tiefbohrungen gewonnen werden [8].

Die hier kurz skizzierten Verhältnisse beweisen also, daß der Boden in einzelnen Gebietsteilen einer und derselben Stadt äußerst verschieden sein kann, und daß dies auch für noch beschränktere Gebiete zutrifft. Dementsprechend werden die gerade in hygienischer Beziehung wichtigsten Bodenverhältnisse, nämlich die Permeabilität, das Verhalten zum Wasser, die Verunreinigung des Bodens u. s. w. ebenfalls große Verschiedenheiten darbieten müssen.

Im ganzen genommen wird der Boden unter alten Kulturstätten und besonders in Großstädten seinen ursprünglichen Charakter in der Regel gänzlich eingebüßt und sich in eine dunkel gefärbte, von Schmutz, Feuchtigkeit, ausgesickerter Kanaljauche und von ausgeströmtem Leuchtgas durchsetzte, übelriechende Erdmasse verwandelt haben. Dazu kommen noch die fortwährenden Anschüttungen, welche in Städten von einem Jahrhundert zum anderen immer neue oberflächliche Bodenschichten liefern und die frühere Oberfläche in die Tiefe vergraben. Es brauchen

hier nur die bekannten Schliemann'schen Ausgrabungen auf dem Gebiete des alten Ilios erwähnt zu werden[9]; lehrreich sind auch die Abbildungen von Narducci[10], auf welchen das alte Rom mit seinem Straßenpflaster und seinen Sielen in übereinander gelagerten chronologsichen Schichten dargestellt ist. In Wien fand Suess[11] den Untergrund bis auf 34 Fuß Tiefe und stellenweise noch tiefer mit Fragmenten von Hausgerät durchsetzt, also angeschüttet. Auch in Budapest hat man nach der großen Ueberschwemmung des Jahres 1838 große Gebiete hoch angeschüttet, leider meist mit häuslichen, Straßen- und industriellen Abfällen.

Auch diese Bodenverhältnisse sollten in den einzelnen Städten für hygienische Zwecke erforscht und auf entsprechenden hygienischen Karten dargestellt werden. Die üblichen geologischen Terrainkarten können, wie oben gezeigt wurde, hygienische Bedürfnisse nicht befriedigen. Derartige Karten besitzen derzeit noch die wenigsten Städte. Und doch liefern nur solche eine richtige Basis für ein gründliches Studium der epidemiologischen Verhältnisse. Nur aus solchen Karten läßt sich ablesen, wie die zur Assanierung einer Stadt nötigen Einrichtungen (z. B. Kanalisation, Drainage) am zweckmäßigsten anzulegen wären.

1) *S. die ältere einschlägige Litteratur in* **A. Hirsch's** *Handb. d. hist. geogr. Path.*, 2. *Aufl.*, *Stuttgart* (1881—83), *Abschn. Malaria, Typhus, Cholera, Kropf u. Kretinismus u. A.*

2) **B. v. Cotta**, *Geolog d. Gegenwart* (1872); **Frhr. R. v. Hauer**, *Die Geologie* (1875); **Arch. Geikie**, *Text-book of Geology, London* (1885) 58. — *Wegen geologischer Klassifikation und Beschreibung des Bodens s. Ausführlicheres in den neueren einschlägigen Lehrbüchern von* **Geikie** (*s. oben*); **G. Leonhard**, *Grundzüge d. Geogn. u. Geolog.*, 4. *Aufl.* (1885—89); **M. Neumayr**, *Erdgeschichte, Leipzig* (1886—87); **A. de Lapparent**, *Traité de géologie*, 2e *éd.* (1885); **K. v. Fritsch**, *Allg. Geologie* (1888); **W. v. Gumbel**, *Grundzüge d. Geol., Kassel* (1888); **H. Credner**, *Elemente d. Geologie* (1891). — *Vgl. auch* **Soyka**, *Der Boden* (1887).

3) **Fodor**, *Hyg. Untersuch. II. Abt., Braunschweig* (1882).

4) **Clement**, *Lyon, Ethnographie etc., Lyon* (1889). *Vgl. auch weiter unten bei Cholera und Typhus.*

5) **L. E. Suess**, *Der Boden von Wien* (1882). — **F. Karrer**, *Der Boden der Hauptstädte Europas, Wien* (1881). — **Soyka**, *Der Boden*, 344.

6) **Soyka**, 257.

7) **F. Karrer**, *a. a. O.*, 48. *Ferner: Dr.* **A. Lossen**, *Der Boden der Stadt Berlin* (1879). — **Soyka**, *Boden*, 327.

8) *Vgl.* **Karrer**, *a. a. O.*, 26.

9) *Ilios, Stadt und Land der Trojaner* (1880).

10) **P. Narducci**, *Sulla fognatura della città di Roma.*

11) *a. a. O.*

ZWEITES KAPITEL.

Die Temperaturverhältnisse des Bodens.

Die Erdrinde bezieht ihre Wärme hauptsächlich aus drei Quellen, nämlich: 1) durch Strahlung von der Sonne, 2) durch Leitung aus dem Innern der Erde, und 3) aus verschiedenen chemischen Prozessen und physikalischen Vorgängen, welche in der Erdrinde selbst Wärme erzeugen.

Neben diesen (mit Ausnahme von 2) an und für sich äußerst variablen Wärmefaktoren trägt der Boden selbst zur Komplizierung der Erwärmungs- und Abkühlungsvorgänge bei, indem bei den einzelnen Bodenarten die Wärmekapacität, das Emissions- und Leitungsvermögen für Wärme ein verschiedenes ist, sowohl infolge des Bodenmaterials an und für sich, als auch infolge der Zustände (Trockenheit oder Feuchtigkeit), in welchen der Boden sich jeweilig befindet.

1. Erwärmung des Bodens durch die Sonne.

Sobald die Sonne sich über den Horizont erhebt, fallen ihre Strahlen durch den Luftkreis auf die Erde. Je höher sie steigt, um so geringer ist die Luftschicht, welche die Strahlen zu passieren haben, und um so steiler werden diese auf die Bodenoberfläche auffallen. Dementsprechend wird auch die Erwärmung des Bodens kontinuierlich zunehmen; denn da durch die abnehmende Luftschicht immer weniger Wärme absorbiert wird, kann immer mehr Wärme bis an die Erdoberfläche gelangen. Andererseits ist die Insolation der letzteren durch die steiler auffallenden Strahlen eine stärkere als bei kleinerem Einfallswinkel (Hann). Nachdem aber die Sonne den Meridian überschritten hat und zu sinken anfängt, werden die Strahlen eine immer mächtigere Luftschicht zu passieren haben und unter immer kleinerem Winkel auf die Erdoberfläche auffallen; infolgedessen wird die letztere immer weniger Wärme erhalten. Nach Sonnenuntergang hört nicht nur die Wärmezufuhr überhaupt auf, sondern die Bodenoberfläche wird, da sie jetzt die erhaltene Wärme in den Weltraum ausstrahlt, sich abkühlen, bis am nächsten Morgen mit Sonnenaufgang die Erwärmung von neuem beginnt. Auf diese Weise kommen die Tagesschwankungen in der Erwärmung der Erdrinde zustande.

Die geschilderte Erwärmung und Abkühlung der Bodenoberfläche ist aber nach Jahreszeiten verschieden. In der warmen Jahreszeit überwiegt die am Tage von den Sonnenstrahlen aufgenommene Wärme über die bei der Nacht von der Erde ausgestrahlte Menge; es muß daher der Boden sich successive erwärmen. Das Gegenteil ist im Winter der Fall; da die Ausstrahlung von Wärme aus dem Boden die Wärmezufuhr von der Sonne übersteigt, wird die Erdrinde sich immer mehr abkühlen. Das sind die jahreszeitlichen Schwankungen der Bodentemperatur.

Aus dem gemeinsamen Durchschnitt der täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen ergiebt sich die mittlere Jahrestemperatur der Erdrinde.

Wir wollen aber diese Erwärmungsverhältnisse noch näher ins Auge fassen [1].

a) Erwärmung der oberflächlichen Bodenschicht.

Der Erwärmungsgrad der Erdrinde ist zunächst abhängig von **Intensität und Quantität der Bestrahlung,** welche ein Ort der Erdoberfläche von der Sonne erhält. Die Bestrahlung ist ihrerseits wieder eine Funktion des Einfallswinkels der Strahlen (Sonnenhöhe) und der Dauer der Bestrahlung (Tageslänge). Diese Wärmemenge wird daher je nach Orten und Umständen naturgemäß verschieden sein. Sie ist abhängig von der **geographischen Lage** und der **Jahreszeit**: nahe zum Aequator und im Sommer ist die Erwärmung des Bodens intensiver und nimmt gegen die Pole oder den Winter fortschreitend ab, weil die Einfallsrichtung der Sonnenstrahlen in den ersteren Fällen der vertikalen näher kommt und die Insolation der Bodenoberfläche länger dauert als in den letzteren.

Die Intensität der Sonnenstrahlung wird an der Oberfläche des Bodens am stärksten gefunden. Herschel hat in Südafrika eine Erwärmung bis auf 70° C., Schübler in Tübingen auf 67,5° C. beobachtet [2]. Bemerkenswert ist die Thatsache, daß die Bodenoberfläche sich durch Insolation ganz bedeutend erwärmen kann, viel höher als die Atmosphäre. So hat Wild [3] in Nukuß folgende Temperatur-Maxima und -Minima an der Bodenoberfläche und in der Luft beobachtet:

	Luft			Bodenoberfläche		
	Minima	Maxima	Differenz (Amplitude)	Minima	Maxima	Differenz (Amplitude)
Januar	—5,85	+0,27	6,12	—5,9	+7,2	13,1
Februar	—10.60	+0,85	11,45	—10,7	+11,7	22,4
März	—0,56	+6,72	7,28	—0,7	+16,0	16,7
April	8,09	19,83	11,77	7,4	29,6	22,2
Mai	12,22	26,28	14,07	12,0	44,2	32,2
Juni	13.60	29,35	16,44	13,4	53.7	40,3
Juli	19,39	32,95	13,63	19,3	57,1	37.8
August	16.01	29,77	13,76	15,1	54,9	39,8
September	11,52	27,05	15,53	10,3	50,1	39,8
Oktober	0 49	14,78	14.29	3,0	35,8	32,8
November	—0,39	13,22	13,61	—1,2	17,6	18,8
Dezember	—2,24	5,11	7,35	—2,1	9,3	11,4
Mittelwert	5,38	17,19	11,82	5,15	32,25	27,1

Wie ersichtlich, kann die Bodenoberfläche im Sommer eine um 25,05° C. höhere Temperatur erreichen als die Atmosphäre; doch ist andererseits auch die Abkühlung dort beträchtlicher als in der Luft.

Diese hohe Temperatur an der Bodenoberfläche vermag die hier am reichlichsten vorhandenen Mikroorganismen wesentlich zu beeinflussen; sie wird mit den die Blutwärme erreichenden Graden Mikroorganismen, welche gerade hier ihr Temperaturoptimum haben, im Wachstum fördern, aber andererseits bei einer weiteren, übermäßigen Steigerung solche Organismen auch abtöten oder abschwächen können.

Die Erwärmung der Bodenoberfläche ist des weiteren vom **Zustand der Atmosphäre** abhängig, da in der Luft ein beträchtlicher Teil der Strahlen während ihres Durchtritts durch die Luft absorbiert wird. Nach Pouillet beträgt die Absorption im Mittel 40—50 Proz. der von der Sonne effektiv auf die Erde gelangenden Strahlen. Neuere Bestimmungen (von Crova in Montpellier) ergaben gleichfalls, daß in unseren Breitegraden und an heiteren Tagen im Mittel 50 Proz. der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre absorbiert werden (Hann).

Besonders viel Wärme wird durch eine feuchte, neblige, bewölkte Atmosphäre zurückgehalten, da der atmosphärische Wasserdampf nach Violle 5mal so viel Wärme zu absorbieren vermag als die Luft (Hann). Ferner ist die Absorption bedeutender am Morgen und am Abend, da zu den genannten Tageszeiten die Wärmestrahlen bis zur Bodenoberfläche den längsten Weg durch die Luft zurückzulegen haben. Diese Einwirkung der Mächtigkeit der Luftschicht hat Violle direkt gemessen; er fand die Sonnenkonstante am Montblanc (4810 m) 2,39, auf den Grand Mulets (3050 m) 2,26 und auf dem Bossongletscher (1200 m) 2,02 *).

Während aber die Luft mit ihrem Wasserdampf die Wärme in der geschilderten Weise zurückhält, breitet sie sich wie eine warme Decke über die Erde aus und mäßigt die Abkühlung der Oberfläche des Bodens. Daher kommt es, daß klare Abende und Nächte, besonders im Inneren der Kontinente, wegen Trockenheit der Luft, und an hoch gelegenen Orten infolge geringerer Mächtigkeit der schützenden Luftdecke mit einer außerordentlichen Abkühlung einhergehen.

Selbstverständlich ist im Sommer und in den heißen Klimaten die Erwärmung der Bodenoberfläche am Tage, die relative Abkühlung in der Nacht am bedeutendsten, während die Tagesschwankungen der Temperatur an der Oberfläche des Bodens im Winter sowie in den kälteren Klimaten viel geringer ausfallen. Im Centrum Indiens kann man angeblich Eis erzeugen, wenn man, um die Ausstrahlung zu steigern, den Boden am Abend mit Stroh bestreut und auf diesem Wasser in flachen Gefäßen aussetzt. In klaren Nächten ist dann die Ausstrahlung bei trockener Luft so bedeutend, daß sich Eis bildet [4].

---

*) Die Sonnenkonstante giebt an, wie viele Wärmeeinheiten auf die Fläche von einem qcm und in einer Minute gelangen. Für die Grenze des Luftkreises läßt sich eine Sonnenkonstante von 2,54 berechnen, d. h. es würden dort in der Minute auf jedem qcm Oberfläche 2,54 g Wasser um 1° C. erwärmt werden. Hiernach vermag die absolute Sonnenkonstante in einem Jahr unter dem Aequator, in Abwesenheit des Luftkreises, eine Eisschicht von 5,475 m (nach Wühler 28,96 m) zu schmelzen, die aber infolge der in der Atmosphäre erfolgenden Wärmeabsorption an der Erdoberfläche um 40 bis 50 Proz. geringer wäre.

Diese plötzliche und starke Schwankung der Temperatur an der Bodenoberfläche, welche jene der Luft bedeutend übertreffen mag (s. Seite 55), ist auch oft die Ursache von Erkältung und Erkrankungen bei Menschen, die Abends oder des Nachts im Freien auf dem Boden lagern, um dort zu übernachten. Hiermit stimmt die Behauptung der Reisenden, daß in tropischen Gegenden die am Erdboden schlafenden Menschen infolge der bedeutenden Abkühlung der Erde und unter der Einwirkung des Mondes (also in klaren, wolkenlosen Nächten) Dysenterien und Fieber bekommen. Auch der Landwirt fürchtet an warmen Frühlingstagen die unbewölkten Nächte mit ihrer starken, oft zu Frost führenden Abkühlung.

Desgleichen ist die Erwärmung des Bodens von der **Exposition** des Ortes abhängig. Auf unserer Hemisphäre sind Berglehnen mit südlicher Lage viel wärmer als Ebenen und noch wärmer als nördliche Abhänge, weil auf erstere die Sonnenstrahlen steiler und während einer längeren Dauer einfallen, während nördliche und ebenso die östlich und westlich gelegenen Berglehnen stärker geneigte Strahlen erhalten und länger im Schatten liegen. Kerner fand zu Innsbruck, 0,8 m tief im Boden, folgende mittlere Jahrestemperaturen: bei SE-, S-, SW-Lage 12,70, bei N-Lage aber bloß 9,4° C.; die Differenz betrug daher 3,3° C. und war im Sommer zwischen Süden und Norden sogar 5° C. (Hann).

Es wird daher für Villenkolonien eine Lage nach Osten über Süden bis Westen nicht angezeigt sein, weil sie im Sommer zu warm ist. In einem nach Norden exponierten Boden findet auch eine geringere Zersetzung der organischen Substanz statt.

Auch vom **Material** des Bodens ist dessen Erwärmung abhängig. Die einzelnen Bodenarten bedürfen nämlich eines verschiedenen Wärmequantums, um sich auf den nämlichen Grad zu erwärmen, d. h. sie haben eine verschiedene Wärmekapazität*). Und das Verhältnis dieser Wärmemenge zu jener anderen, welche nötig ist, um ein gleiches Volumen (Gewicht) Wasser um 1° C. zu erwärmen, drückt die spezifische Wärme aus**).

Wird das zur Erwärmung der Gewichtseinheit Wasser um 1° C. erforderliche Wärmequantum als 1 angenommen, so erhält man für einige wichtigere Bodenarten, nach Austrocknen bei 100° C., folgende spezifische Wärmen: Kalksand 0,188, Lößlehm 0,259, Mergellehm 0,284, humöser Lehm 0,310, Haideerde 0,312, Kalkboden 0,339, Granitboden 0,380; ferner: Schwerspat 0,1088, Quarzsand 0,1963, Torf 0,477 bis 0,529 (Dehérain, Liebenberg, Lang)[5]. Die spezifische Wärme der Luft ist bekanntlich = 0,2669. Demgemäß werden Sandböden sich rascher erwärmen als lehmige oder gar humöse, da die letzteren zur Erwärmung viel größere Wärmemengen aufzunehmen haben als erstere.

Da nun die Gewichtseinheit Wasser 2—5mal so viel Wärme braucht als der Boden, um eine gewisse Temperatur zu erreichen, wird die Erwärmung eines Bodens offenbar auch davon wesentlich abhängen,

*) Wärmekapazität nennt man diejenige Wärmemenge, welche zur Erwärmung der Raum- oder Gewichtseinheit eines Bodens erforderlich ist.

**) Um die spezifische Wärme nach Regnault zu bestimmen, wird in der Regel eine getrocknete und abgewogene Bodenprobe auf 100° C. erwärmt, rasch in Wasser geworfen, dessen Gewicht und Temperatur vorher bestimmt worden war, und jetzt die Temperatur des Wassers aufs neue gemessen (Dehérain).

ob derselbe trocken oder feucht ist. Ein trockener Boden ist warm, der feuchte Boden aber ist kalt, um so mehr, als er durch Verdunstung des Wassers auch direkt abgekühlt wird*).

Für die Erwärmung der Oberfläche ist auch die **Farbe** des Bodens von Bedeutung. Die dunkel gefärbten Bodenarten zeigen eine größere Wärmekapazität als die hellfarbigen. Dies geht aus den Versuchen von Gasparin[6] hervor, der verschiedene Bodenarten mit einer durch Sieben aufgetragenen dünnen Schicht Magnesiumkarbonat oder Ruß bedeckte und dann den Sonnenstrahlen exponierte**). Die in die Bodenproben eingesetzten Thermometer zeigten folgenden Stand in ° C.:

	Oberfläche weifs	Oberfläche schwarz
Quarzsand	43.25	50,87
Kalksand	43.25	51,12
Thon	41,25	48,87 u. s. f.

Den Landwirten ist diese Wirkung der Farbe des Bodens sehr wohl bekannt. Nach Saussure pflegen die Bauern in der Gegend von Chamounix im Frühjahr den Schnee auf den Feldern mit pulverisiertem Schiefer zu bestreuen, und erreichen dadurch, daß der Schnee um 10 bis 14 Tage früher verschwindet, als ohne Anwendung des Schieferpulvers.

Ferner hängt die Erwärmung davon ab, ob die Bodenoberfläche frei exponiert oder beschattet, mit Vegetation (Ebermayer)[7], Gebäuden etc. bedeckt ist (Fodor)[8]. Durch letztere Umstände wird der freie Zutritt der strahlenden Sonnenwärme zur Bodenoberfläche verlangsamt, vermindert oder gar ganz verhindert.

Es versteht sich wohl von selbst, daß die Abkühlung der Bodenoberfläche durch ganz dieselben Faktoren — meist im entgegengesetzten Sinne — beeinflußt wird, welche die Erwärmung des Bodens regulieren. So wird der Grad der Abkühlung davon abhängen, wie viel Wärme der Boden am Tag und während der warmen Jahreszeit erhalten hat, — ferner davon, ob die Ausstrahlung der Wärme nach dem Weltraum durch Wolken, durch eine feuchte und warme Atmosphäre behindert ist oder nicht, — ebenso davon, ob die letztere durch eine Vergrößerung der Oberfläche: Graswuchs und Vegetation gefördert, oder im Gegenteil durch Bäume, Waldungen, Gebäude u. a. gehemmt ist oder nicht.

Am meisten wird aber die Abkühlung vom Feuchtigkeitsgrad des Bodens abhängen. Ein wässeriger Boden muß — trotzdem er infolge der größeren Wärmekapazität des Wassers mehr Wärme aufgenommen hat — sich rascher und bedeutender abkühlen als ein trockener, weil das Wasser ein guter Wärmeleiter ist, auch bei der Verdunstung viel Wärme entführt.

---

*) Von der Kompensation der Wärme durch den Umstand, daß ein feuchter Boden ein besserer Wärmeleiter ist als ein trockener, soll weiter unten die Rede sein.

**) Dieses Experiment läfst sich als Vorlesungsversuch verwerten. Hierzu bringt man Bodenproben (und zwar einen Teil feucht, den anderen trocken) in Holzkasten von 20 × 20 cm und färbt dieselben in der angedeuteten Weise schwarz oder weifs; nachdem man in jede Probe ein Thermometer einige cm tief eingeführt, wird der Apparat den Sonnenstrahlen exponiert. Die ungleiche Erwärmung zwischen schwarzen und weifsen, andererseits zwischen trockenen und feuchten Bodenproben ist sehr auffallend und manifestiert sich durch eine Temperaturdifferenz von 5 bis 6 ° C.

Auf Grund des Gesagten werden sich an der Oberfläche durch Insolation besonders die dunkelgefärbten, porösen und trockenen Bodenarten erwärmen, nämlich Basalt, aus verwittertem Schiefer bestehende, humöse und überhaupt die trockenen, porösen Bodenarten; hingegen werden kalt bleiben resp. sich stärker abkühlen: die hellfarbigen, feuchten und dichten Bodenarten, wie reiner Lehm, reiner Sand u. a.

b) Erwärmung der tieferen Bodenschichten.

Die mit den Sonnenstrahlen an die Bodenoberfläche gelangte Wärme dringt in die Erdkruste ein. Dieses Vordringen, beziehungsweise dessen Unterbrechung und Reduktion durch Abkühlung wird gleichfalls durch komplizierte Kräfte reguliert.

Das Vordringen der Wärme nach den tieferen Bodenschichten hängt zunächst von der Menge (Intensität und Dauer) der Wärmeinsolation ab; der Boden wird also am Tage, unter wärmeren Klimaten und im Sommer über die meiste Wärme zu verfügen haben und sich in diesen Fällen auch am stärksten erwärmen. Ferner ist das Eindringen der Wärme von der Wärmekapazität und Wärmeleitung des Bodens abhängig. Die Wärmekapazität wurde schon oben gewürdigt; es erübrigt daher noch, die Wärmeleitung kurz zu erörtern.

Der Boden ist im allgemeinen ein schlechter Wärmeleiter; sein Leitungsvermögen wird dem des Wassers nahe kommen oder es nicht erreichen. Ausnahmsweise kommen auch besser leitende Bodenschichten vor, so die erzhaltigen. Da solche aber zu den Seltenheiten gehören, können wir sie selbstverständlich übergehen.

Das Material des Bodens vermag nicht die Wärmeleitung beachtenswert zu beeinflussen. Leß[9] fand für kompakte Bodenproben von verschiedenem Material folgende relative Wärmeleitung (Marmor als 1000 angesetzt): sächsischer Granit 804, Basalt 726, feinkörniger Sandstein 721 u. s. f.

Wichtiger ist schon der Aggregat-Zustand des Bodenmaterials: ob es kompakt oder verwittert, lufthaltig oder wasserführend ist. Ein kompakter Boden ist ein besserer Wärmeleiter als ein verwitterter[10].

Luft ist bekanntlich ein sehr schlechter Wärmeleiter; dies ist der Grund, warum auch Bodenarten, wenn sie Luft enthalten, zu schlechten Wärmeleitern werden. Dagegen ist Wasser ein guter, ein 21—26mal besserer Wärmeleiter als Luft*). Infolgedessen wird die Wärme sich in einem mit Wasser erfüllten Boden ohne Luftgehalt schneller fortpflanzen als in einem trockenen, lufthaltigen Boden. Dieser Einfluß von Luft und Wasser ist zwar für die Wärmeleitung — Erwärmung und Abkühlung — im Boden entscheidend, doch ist die Wirkung der genannten Faktoren sehr kompliziert und wird die eine Wirkung durch die übrigen vielfach kompensiert und reduziert.

So wird z. B. das Wasser die Wärme im Boden rascher leiten als die Luft; da es aber eine größere Wärmekapazität besitzt als Luft und Boden, ist zur Erwärmung eines feuchten Bodens ein viel

*) Setzt man die Wärmeleitung der Luft für 1,0, so ist sie für Wasser 21,088 bis 26,500, Blei 1421,7, Eisen 283,16, Kupfer 13928,5.

größeres Wärmequantum erforderlich, als wenn der Boden trocken wäre, was auch auf die Erwärmung hindernd wirkt. Da sich nun an diesen zwei Faktoren bei der Wärmeleitung ein relativ größerer Unterschied zeigt, wird sich zum Schluß für den feuchten Boden doch eine raschere Erwärmung ergeben, wie dies auch durch Versuche bewiesen ist. Dem gegenüber muß die bessere Wärmeleitung des feuchten Bodens zu einer rascheren Abkühlung führen, welche noch durch die Verdunstung des Wassers gesteigert wird, die schon bei der Erwärmung des Bodens das eindringende Wärmequantum verminderte. Der feuchte Boden muß sich also bis auf größere Tiefen und stärker abkühlen als ein trockener. Demgemäß muß der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens hinsichtlich dessen Erwärmung zu verschiedenen Verhältnissen führen.

Die Bodenoberfläche wird sich stärker erwärmen, wenn der Boden trocken und porös als wenn er feucht und kompakt ist.

In einem feuchten und kompakten Boden dringt die Erwärmung schneller und tiefer ein, erreicht aber nicht so hohe Grade wie im trockenen und porösen; desgleichen wird der feuchte und kompakte Boden sich rascher, auf größere Tiefen und beträchtlicher abkühlen als ein trockener und verwitterter. Dementsprechend muß die Erwärmung und Abkühlung der Erdkruste in einem feuchten Boden bedeutendere Schwankungen zeigen, und diese werden in größere Tiefen eindringen, als wenn der Boden trocken wäre.

2. Wärmeschwankungen in den tieferen Bodenschichten.

α) *Schwankungen nach Tageszeiten.*

Während die Oberfläche des Bodens sich — wie erörtert wurde — bedeutend stärker erwärmt und abkühlt als die Atmosphäre werden die oberen Bodenschichten — bis auf eine gewisse Tiefe, wo schon die Wirkung der konstanten inneren Erdwärme, die wir weiterhin noch ausführlicher besprechen wollen, zur Geltung kommt — sich minder erwärmen und abkühlen als die atmosphärische Luft.

Diesbezüglich ist zunächst auffallend, wie beschränkt die täglichen Temperaturschwankungen im Boden sind. Die Erwärmung am Tage und die Abkühlung während der Nacht dringt nur auf geringe Tiefen mit voller Kraft in den Boden ein. Es genügt schon eine Erdschicht von 5 cm, um die riesigen Schwankungen in Erwärmung und Abkühlung der Bodenoberfläche aufzuheben. In 5 cm Tiefe ist die Temperatur im Boden annähernd dieselbe wie in der Luft. In größeren Tiefen wird sie schon hinter der Lufttemperatur zurückbleiben, am Tage weniger ansteigen und in der Nacht nicht so sehr abfallen als in der Luft. In noch größeren Tiefen ist die Einwirkung der Tages- und Nachttemperaturen noch geringer und hört endlich ganz auf. Die Tiefe, bis auf welche diese täglichen Schwankungen eindringen und mit dem Thermometer nachgewiesen werden können, sind verschieden, je nach der Wärmeleitung und der Insolation des Bodens (heißes oder kaltes Klima, Sommer oder Winter). In Nukuß beträgt sie nach Wild (in einem sandigen Lehmboden) 0,81 m, in Brüssel nach Quetelet 0,3—1,46 m [11]. In Budapest fand Fodor an einem in 0,5 m Tiefe versenkten Kappeller'schen Thermometer zwischen Morgen und Abend nicht einmal 0,1° C. Differenz, obschon die Lufttemperatur Morgens, Mittags und Abends selbst um 12—14° differierte.

Im allgemeinen kann man annehmen, daß die tägliche Erwärmung und nächtliche Abkühlung im Mittel nicht tiefer als auf 0,5—1 m in den Boden eindringt. Im Sommer, wenn der Unterschied zwischen Tages- und Nachttemperaturen bedeutender ist, ferner in feuchtem Boden, resp. bei Regenwetter werden die Tagesschwankungen tiefer eindringen, als in einen trockenen Boden und bei regenlosem Wetter.

Auf die schlechte Wärmeleitung des Bodens ist die Beobachtung zurückzuführen, daß die Erwärmung am Tage und die nächtlichen Abkühlungen im Boden von den Temperaturschwankungen der Luft zeitlich um so mehr differieren, je tiefer im Boden wir sie messen. Im Mittel kann angenommen werden, daß jeder Decimeter Tiefe eine Verspätung von $2^1/_2$ Stunden verursacht[12]. Daher wird am Abend und in den Stunden vor Mitternacht, wenn die Atmosphäre sich so rapid abkühlt, der Boden unter 1—2 Decimeter Tiefe nicht nur warm bleiben, sondern gerade jetzt das Tagesmaximum aufweisen. So wurde in Nukuß die höchste Tagestemperatur in 2 Decimeter Tiefe Abends um 9 Uhr, in 4 Decimeter Morgens um 3 Uhr abgelesen.

Aus diesen Beobachtungen folgt, daß in den oberflächlichen Bodenschichten — wo der Boden eben am meisten verunreinigt ist und wo die wichtigsten Zersetzungsvorgänge verlaufen — die den letzteren förderliche Wärme am Abend den höchsten Stand erreicht; es folgt aber auch, daß die Grundluft am Abend und des Nachts — wenn sie wärmer und daher leichter ist — die größte Tendenz zum Ausströmen auf die Oberfläche besitzt (s. hierüber ausführlicheres unten bei Grundluft).

Von den täglichen Schwankungen der Bodentemperatur will ich endlich noch hervorheben, daß die Amplitude der Schwankung, d. h. die Differenz zwischen Tagesmaximum und -minimum mit der Tiefe abnimmt. So wurden in Nukuß die folgenden Amplituden beobachtet:

In der Luft	11,75 ° C.
an der Bodenoberfläche .	27,07 „
in 0,05 m Tiefe	10,89 „
„ 0,10 „ „	7,81 „
„ 0,20 „ „	3,25 „
„ 0,40 „ „	0,59 „

β) Schwankungen der Bodentemperatur nach Jahreszeiten.

Der Einfluß der Jahreszeiten auf die Bodentemperatur und deren Schwankungen offenbart sich in größerem Umfange.

Vor allem dringen Sommerwärme und Winterkälte auf größere Tiefen ein, als die Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht; aber infolge der schlechten Wärmeleitung des Bodens wird diese Tiefe nicht beträchtlich sein und wieder vom Material des Bodens und seiner Wärmeleitung, sowie von den Insolationsverhältnissen (Intensität und Dauer) abhängen. Nach einer Tabelle bei Wild[13], welche die an 24 Orten angestellten Beobachtungen berücksichtigt, wurden die Schwankungen verschwindend gering (geringer als 0,01 ° C.): zu Edinburg in 32,8 m Tiefe (in Sandboden); aber am selben Ort in einem anderen Boden [Trapp] hörten die Schwankungen schon in 18,5 m Tiefe und an einer dritten Stelle [wieder Sandboden] in 21,6 m Tiefe auf. In Nukuß sah Wild die Schwankungen schon in 14,6 m

Tiefe aufhören (Sand- und Thonboden). In Budapest wurde das in 16,4 m Tiefe beobachtet[14]. Es läßt sich also für die Tiefe, bis zu welcher die Jahresschwankungen der Temperatur in den Boden eindringen, eine genaue und einheitliche Grenze nicht aufstellen; sie wird selten über 30 m Tiefe liegen.

Unterhalb dieser Tiefe beginnt die Schicht mit konstanter Jahrestemperatur, deren Höhe von hier abwärts stetig zunimmt, worüber weiter unten ausführlicheres folgt.

Die zeitliche Verspätung in der Erwärmung läßt sich auch beim Vergleiche mit den Lufttemperaturen erkennen, weil die Wärme in die schlecht leitenden Schichten nur langsam eindringt, und zwar kann man aus den Bodentemperaturmessungen von Fleck[15], Fodor[16] u. a. — wie aus nachstehender Tabelle ersichtlich, wo ich die Bodentemperaturen von Dresden im Mittel aus 3 Jahren (1873–75), für Budapest im Mittel aus 4 Jahren (1877—80) zusammengestellt habe*) — folgern, daß

	Dresden				Budapest				
	2 m	4 m	6 m	Aeufsere Luft	0,5 m	1 m	2 m	4 m	Aeufsere Luft
Januar	6,07	9,24	11,06	1,25	1,292	3,28	6,47	11,90	—1,90
Februar	4,92	8,08	10,26	—1,57	1,290	2,33	4,89	10,62	1,08
März	4,65	7,28	9.44	2,89	2,85	2,77	4,32	9,99	3.92
April	7,86	7,27	8,95	7,79	8,52	6,16	5,27	9,49	11,20
Mai	9,96	8,53	9,06	11,04	12,34	10,33	7,96	9.68	15,02
Juni	12,99	10,71	9,60	17,05	17,39	14,75	11,28	10,46	20,30
Juli	16,74	12,88	10,66	19,43	19,07	17,06	14,03	11,62	20,82
August	17,87	14.63	12,07	17,93	18,90	17,14	15,53	12,75	20,75
September	17,11	15,23	12,71	14,19	16,10	16,38	15.74	13,84	16,35
Oktober	14,97	14.78	12,97	9,25	11,41	12,90	14.18	14,28	10,05
November	10,58	12,27	12,62	2,90	6,86	8,84	11,48	13,89	4,40
Dezember	7,19	10,97	11,93	—0,67	3,58	5,79	8,86	13,03	—2,30

die Verspätung für jeden Meter Tiefe annähernd 3 Wochen beträgt — in einem gut leitenden Boden weniger, im schlecht leitenden mehr. Mithin wird das Jahresmaximum in 1 m Tiefe im August, in 2 m Tiefe Anfang September, in 4 m Tiefe im Oktober zu beobachten sein. In noch größeren Tiefen ist auch die Verspätung entsprechend größer. Andererseits fällt das Jahresminimum in 1—2—4 m Tiefe etc. auf die Monate Februar, März und April, resp. noch später.

Die obere Bodenschicht (in 0–4 m Tiefe, wo die organische Zersetzung verläuft) ist daher im Herbst am wärmsten und im Frühjahr am kältesten; die tiefen Schichten (unterhalb 4 m, wohin die Keller und Brunnen hinabreichen) sind im Winter am wärmsten und im Sommer am kältesten.

Diese Thatsachen sind für die Epidemiologie und Bauhygiene von großer Bedeutung. Näheres s. unten.

Die Amplitude der Temperaturschwankungen nimmt mit der Tiefe ab. Während ich zu Budapest in feinkörnigem Sand-

*) Die Budapester Mittelwerte sind auf Grund von im Hofe des chemischen Institutes, an einer freigelegenen Stelle, in humösem Sandboden angestellten Temperaturmessungen berechnet.

boden aus an 4 Observationsstationen 4 Jahre hindurch angestellten Beobachtungen in der oberflächlichen — 0,5 m tiefen — Schicht zwischen den einzelnen Jahreszeiten an ein und derselben Stelle Differenzen bis zu 25,5° C. beobachten konnte, betrug die Amplitude in 1 m Tiefe 20,1°, in 2 m Tiefe 12,9° und in 4 m Tiefe bloß 5,6° als Maximum. In noch größeren Tiefen ist die Amplitude selbstverständlich noch geringer. In Dresden zeigte sie während 3 Jahren in 6 m Tiefe ein Maximum von bloß 4,56° C. (Minimum im März 1874 = 8,82°, Maximum im September 1874 = 13,40°). Zu Budapest fand ich in 4 m Tiefe auf 4 Stationen während 4 Jahren eine minimale Jahreszeits-Amplitude von 3,5° C.

Die in Budapest an allen 4 Stationen während 4 Jahren beobachteten absoluten Temperatur maxima und -minima waren folgende:

	Maximum	Minimum	Differenz
Lufttemperatur (Monatsmittel)	23,4° C.	—3,4° C.	26,8° C.
Bodentemp. in 0,5 m Tiefe	23,33 „	—2,23 „	25,56 „
„ 1,0 „ „	20,97 „	+ 1,60 „	19,37 „
„ 2,0 „ „	17,90 „	2,14 „	15,76 „
„ 4,0 „ „	15,80 „	9,27 „	6,53 „

Auf allen 4 Stationen zusammengenommen betrug während der 4 Jahre das Jahresmittel:

Lufttemperatur	10,14
Bodentemperatur in 0,5 m Tiefe	10,01
„ „ 1,0 „ „	10,16
„ „ 2,0 „ „	10,49
„ „ 4,0 „ „	12,19

Hieraus erhellt, daß während in den oberen (bis auf 4 m Tiefe reichenden) Bodenschichten (in Budapest und an Orten mit ähnlichem Bodenklima) die Temperatur nach Jahreszeiten in einem Maße schwankt, daß sie der Zersetzung organischer Substanzen, und insbesondere dem Lebensprozesse der im Boden befindlichen Mikroorganismen bald förderlich, bald wieder hinderlich ist: in einer Tiefe von 4 m und mehr das ganze Jahr hindurch eine Temperatur herrscht, welche Bakterienarten von bescheideneren Wärmeansprüchen das ganze Jahr hindurch ein mäßiges Wachstum gestattet, anderen Arten hingegen, welche höhere Temperaturen beanspruchen, wie z. B. den Anthraxbacillen, das Wachstum unmöglich macht. Gleichzeitig wird ein etwa vorhandenes Wachstum in 4 m Tiefe und noch tiefer überhaupt langsam und gleichmäßig verlaufen, weil die Temperatur zu keiner Jahreszeit so bedeutend ansteigt, wie es ein lebhaftes Wachstum benötigen würde. (Vergl. weiter unten die Kapitel: Organische Substanzen — Bakterien im Boden).

Doch ist es auch in anderer Hinsicht für die Hygiene wichtig, die jährlichen Temperaturmaxima und -minima in den einzelnen Tiefen zu kennen. Von diesen Größen hängt z. B. ab, in welcher Tiefe Wasserleitungsröhren verlegt werden sollen, um im Winter nicht einzufrieren und im Sommer nicht lauwarmes Wasser zu liefern; ebenso muß bei Schwemmkanälen sowohl das Einfrieren wie eine stärkere Erwärmung vermieden werden. In Souterrainlokalitäten, also in Wohnungen und Kellern wird das Klima durch die Schwankungen der

Bodentemperatur bestimmt. Kellerwohnungen sind im Winter wärmer und im Sommer kühler, werden daher von jener Volksklasse bevorzugt, die nichts so sehr fürchtet, als in der Wohnung zu frieren, und die Summen, welche die Beheizung der Wohnung kostet, nicht erschwingen kann.

Die jahreszeitlichen Schwankungen der Bodentemperatur müssen auch die Temperatur des Brunnen- und (oberflächlichen) Quellwassers beeinflussen.

Diese Erwärmung und Abkühlung des Bodens wird offenbar durch vielerlei zufällige Faktoren modifiziert. So muß z. B. unter Gebäuden der Boden sich im Sommer minder erwärmen und im Winter weniger abkühlen[17]. In unter Gebäuden gelegenen Kellern ist die Bodentemperatur noch konstanter und auch davon abhängig, ob der Keller offen oder verschlossen ist und ob er im Winter geheizt wird oder nicht.

γ) *Jahresschwankungen der Bodentemperatur.*

Da die atmosphärische Temperatur von Jahr zu Jahr andere Jahresmittel aufweist, kann von vornherein vermutet werden, daß auch das Mittel der Bodentemperatur nicht immer jedes Jahr das gleiche sein wird. Aus den von Fleck in Dresden und von Fodor in Budapest angestellten Temperaturmessungen ergab sich aber, daß der Boden eine von Jahr zu Jahr konstantere Temperatur hat als die atmosphärische Luft. Dies ist aus den folgenden Tabellen ersichtlich:

Jahr	Boden (Hof des chem. Instituts) in Budapest					Luft
	0,5 m	1 m	2 m	4 m	Mittel aus 0,5 m bis 4 m	
1877	9,83	10,04	10,26	11,70	10,46	10,13
1878	10,11	10,28	10,29	11,89	10.64	11,30
1879	9,44	9,72	9,99	11,91	10,62	8,98
1880	10.56	9,21	9,53	11,68	10,24	10,25

	Dresdener Boden				Luft
	2 m	4 m	5 m	Mittel	
1873	11,39	11,19	10,99	11,19	9,08
1874	11,07	11,37	11,13	11.19	8,70
1875	10,23	10,63	10,69	10,52	8,28

Demgemäß kann den Schwankungen der Bodentemperatur im Jahresmittel eine hygienische Bedeutung kaum zugesprochen werden.

3. Erwärmung des Bodens durch die innere Erdwärme.

Nach obigen Ausführungen dringt der Einfluß von Insolation und Abkühlung nicht über 15 bis 30 m tief in den Boden ein. Unterhalb dieser Grenze ist die Temperatur zunächst konstant. Eine Reihe von warmen oder kalten Jahren vermag wohl die Grenze nach oben oder unten zu verändern, doch nur in geringem Maße. Tiefer unten ist aber die Temperatur konstant, und läßt sich weder eine successive Erwärmung (z. B. durch zunehmende Insolation) noch eine zunehmende Abkühlung (etwa infolge einer allgemeinen Abkühlung der Erdmasse) nachweisen. Diesbezüg-

lich wird in der Regel auf das im Keller des Observatoriums zu Paris (28 m unter Bodenniveau) angebrachte Thermometer hingewiesen, welches sich seit einem Jahrhundert kaum gerührt hat*).

An der oberen Grenze der Temperaturkonstante müßte der nämliche Wärmegrad herrschen, welcher der mittleren Temperatur in der Luft entspricht, wenn die Temperatur der Erdkruste bloß durch Insolation und Abkühlung beeinflußt wäre. Doch verhält sich die Sache nicht ganz so. Im allgemeinen ist die Temperatur, schon von den oberflächlichen Bodenschichten angefangen, höher als das Jahresmittel der Lufttemperatur und nimmt die Wärme mit der Tiefe konstant zu. Es war das aus den obigen Budapester Beobachtungen ersichtlich, und dasselbe wird durch die folgenden, hauptsächlich nach Wild[19] übernommenen Zahlen bewiesen:

	Luft	Bodentiefe m				
		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
			(Jahresmittel)			
St. Petersburg	3,1	4,6	5,7	—	7,2	—
Greenwich	9,6	—	10,5	—	—	10,3
Brüssel	10,5	9,7	10,7	—	—	11,9
München	7,3	—	8,8	—	9,0	9,0
Budapest (Fodor)	10,14	10,01	10,16	10,49	—	12,19
Trevanden	27,2	—	29,8	30,2	—	—

In Paris hat Becquerel[20] als Mittel aus 10 Jahren die folgenden Temperaturen beobachtet:

in 1 m Tiefe	11,34 ° C	
„ 6 „ „	11,94 „	
„ 11 „ „	11,96 „	
„ 16 „ „	12,01 „	
„ 21 „ „	12,09 „	
„ 26 „ „	12,37 „	
„ 31 „ „	12,31 „	
„ 36 „ „	12,42 „	

Er fand noch folgende Amplitude in den einzelnen Jahreszeiten: in 1 m Tiefe 7,0°, in 6 m Tiefe 1,07°, in 31 m Tiefe 0,04°, während in 36 m Tiefe konstant eine Temperatur von 12,42° herrschte.

Somit besteht an der Grenze der konstanten Temperatur unveränderlich annähernd derselbe, resp. ein etwas höherer Wärmegrad, wie das Jahresmittel der Lufttemperatur. Oberhalb dieser Grenze wird die Temperatur nach Jahreszeiten u. s. w. näher zur Bodenoberfläche mehr, und tiefer unten weniger schwanken; unterhalb der bewußten Grenze ist die Temperatur konstant und mit der Tiefe ansteigend.

Ist die mittlere Jahrestemperatur der Luft an einem Orte bekannt, so kann nach obigem annähernd bestimmt werden, wie kalt dort der kühlste Keller oder die kühlste Quelle sein wird. In der Regel kann deren Temperatur nicht unter dem Jahresmittel der Luft liegen; doch können ausnahmsweise — infolge eigentümlicher physikalischer und geologischer Ursachen — auch kältere Bodenzustände obwalten, wie z. B. in den vielbewunderten Eishöhlen zu Dobsina (Ungarn).

*) Nach Bouvard zeigte dieses Thermometer von 1817 bis 1834 im Maximum 11,989 (im J. 1829) und im Minimum 11,774 (im J. 1818, 1819); die Schwankung betrug daher während 18 Jahren blofs 0,215°.[18]

In kalten Gegenden, wo die Jahrestemperatur unter 0 steht, wird auch in jenen Tiefen konstant eine Temperatur unter 0 vorherrschen, und erst unterhalb der Grenze beginnt der konstant warme Boden; die oberhalb der Grenze gelegenen Bodenschichten aber werden abwechselnd gefrieren und auftauen. In Jakutsk pflegt die Bodenoberfläche in Sommer sich zu erwärmen und auch Ernten zu liefern, obschon einige Meter tiefer im Boden beständiger Frost herrscht[21]. In heißen Gegenden ist der Boden warm, dort giebt es keine kühlen Keller und Quellen. Eine Quelle mit konstanter Temperatur, die der mittleren Jahrestemperatur der Luft annähernd gleich kommt, wird aus der Gegend der konstanten Jahrestemperatur, also beiläufig aus 30 m Tiefe gespeist; konstant wärmere Quellen entspringen aus größeren, die im Winter warmen und im Sommer kühlen Quellen aber aus geringeren Tiefen im Boden.

Wenn man von der oberen Grenze der konstanten Temperatur in die Erde vordringt, steigt die Bodentemperatur successive an, ist aber auch hier in jeder Schicht für sich konstant. Diese successive Wärmezunahme der Erdkruste in die Tiefe wird aus den Temperaturbeobachtungen zahlreicher Tiefquellen, Bergwerke und Tunnels gefolgert, und die Erfahrung lehrt, daß die Zunahme ziemlich regelrecht und gleichmäßig erfolgt, obschon sie durch die verschiedene Wärmeleitung der Gesteine, ferner durch eventuell in der Nähe fließende (wärmere oder kältere) Quellen einigermaßen gestört werden kann.

Am verläßlichsten sind die bei Tiefbohrungen gefundenen Temperaturen. Bei den tiefsten Bohrungen entfiel 1° C. Wärmezunahme auf folgende Tiefen[22]:

Ort	Erreichte Tiefe in m	1° C. Wärmezunahme entfällt auf m Tiefe
Sennewitz bei Halle a. S.	1111,45	36,66
Sperenberg bei Berlin	1273,01	32,00
Lieth (Holstein)	1338,10	35.00
Schladebach bei Leipzig	1748,40	36,87

Auf Grund dieser und anderer Messungen kann also angenommen werden, daß die Temperatur der Erde auf je 35 m Tiefe um 1° C. zunimmt. Mithin wird die Tiefe einer Therme in Metern erhalten, wenn man von der Temperatur des Wassers die mittlere Jahrestemperatur der Luft am betreffenden Orte subtrahiert und den Rest mit 35 multipliziert*).

4. Die durch physikalisch-chemische Prozesse erzeugte Bodenwärme.

Von den physikalischen Prozessen, welche auf die Bodenwärme modifizierend einwirken, sind zu nennen: die Strömungen der Grundluft, welche, bald warm aus der Tiefe aufsteigend, oberflächlichere Bodenschichten erwärmt, bald kalt in die Tiefe sinkend, hier den Boden abkühlt; ferner die bereits erwähnte Wasserverdunstung aus dem Boden, welche abkühlend auf den Boden wirkt;

*) Die in Budapest erbohrte artesische Therme, welche aus einer Tiefe von 970,5 m emporsteigt, besitzt 73,92° C., — das Bohrloch selbst zeigte in einer Tiefe von 904 m 81,25° C, . . . Es entfallen sonach in Budapest 1° C. Temperaturzunahme schon auf je 12,5 m.

andererseits vermag der Boden aus der Luft Wasserdampf zu kondensieren, woraus — besonders im Humusboden — wahrnehmbare Temperaturerhöhungen resultieren. Ebenso führt eine Befeuchtung des trockenen Bodens durch Regen zu einer nicht unbedeutenden Wärmesteigerung (Meißner)[23]. Des weiteren kann auf kalte Grundwasserströme und warme Quellen mit ihren lokalen Einwirkungen verwiesen werden.

Von den chemischen Prozessen verdient die langsame Zersetzung der organischen Substanzen im Boden Erwähnung.

Alle die angeführten Kräfte vermögen aber die Erwärmung des Bodens kaum in berechenbarem Maße zu beeinflussen, weshalb wir sie auch nicht eingehender erörtern. Es soll bloß noch die experimentelle Erfahrung von Karlinsky erwähnt werden, daß es während der Fäulnis der Organe von Typhusleichen zu einer beträchtlichen Temperatursteigerung im Boden kommt[24].

1) *Ausführlicher bei:* **Müller-Pouillet**, *Kosmische Physik* (1872). — **J. Hann**, *Handb. d. Klimatologie*, *Stuttgart* (1883). — **A. Woeikof**, *Die Klimate der Erde*, *Jena* (1887). — **S. Günther**, *Lehrb. d. phys. Geographie*, *Stuttgart* (1891) *u. a.*
2) **Schübler**, *Grundsätze der Agrikulturchemie* (1830).
3) *Ueber die Bodentemperatur in St. Petersburg und Nukufs*, *Repert. f. Meteor. VI*; *vgl.* **Soyka**, *a. a. O.*, 147.
4) **Müller-Pouillet**, *Kosmische Physik* (1872).
5) **S. Dehérain**, *Cours de chimie agricole*, *Paris* (1878). — **Pfaundler**, *Pogg. Ann.* (1866). — **Liebenberg**, *Untersuch. üb. Bodenwärme*, *Halle* (1875). — **Lang**, *Forsch. auf d. Geb. d. agrik. Phys*, 1. *Bd. u. a.*
6) **L. A. Mayer**, *Lehrb. d. Agrik. Chemie*, *Heidelberg* (1871), 2. *Bd.* 118. *Ferner:* **Dehérain**, **Lang**, *a. a. O.*
7) *Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden u. s. w.*, *Aschaffenburg* (1873).
8) *Deutsche V. f. öff. Ges.*, 7. *Bd.*
9) *Vgl.* **Soyka**, *Der Boden*, 150.
10) **Pott**, *Landwirtschaftl. Versuchsstat.*, *XX*, *s. auch* **Soyka**, *a. a. O.*
11) *Vgl.* **Soyka**, *Boden*, 161.
12) *S.* **Soyka**, *a. a. O. Boden* 161.
13) *S.* **Soyka**, *a. a. O.* 165.
14) **G. Schenzl**, *Jahrb. d. königl. ungar. Centralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus* (1874).
15) **Fleck**, *I.—V. Jahresb. d. chem. Centralstelle* (1872—76) *etc.*
16) **Fodor**, *Hyg. Untersuch. über Luft, Boden und Wasser*, *II. Abt.*, 68.
17) *Vgl.* **Delbrück**, *Z. f. Biol.* (1868). — **Pfeiffer**, *daselbst* (1871). — **Fodor**, *V. f. öff. Ges.* (1875), *Heft* 2.
18) **Soyka**, *Boden*, 162.
19) **Soyka**, *a. a. O.* 165.
20) **Soyka**, *a. a. O.* 161.
21) *S. die Tabelle von* **Wild** *bei* **Soyka**, *a. a. O.*, 165, 166.
22) **S. Günther**, *Lehrb. d. phys. Geographie*, *München* (1891), 53.
23) *Ueber die beim Benetzen pulverförmiger Körper auftretende Wärmetönung*, *Leipzig* (1886).
24) *Arch. f. Hyg.*, 13. *Bd.*, 333. *Siehe auch* **Schottelius**, *Centrbl. f. Bakter.* 7. *Bd.* 265 (1890).

DRITTES KAPITEL.

Bodenfeuchtigkeit und Grundwasser.

1. Befeuchtung des Bodens durch atmosphärische Niederschläge.

Aller Wasserdampf, der von der Oberfläche der Meere, Seen, Flüsse sowie vom feuchten Boden verdunstet, wird zeitweilig als Regen und Schnee auf die Oberfläche unseres Bodens niedergeschlagen. Dadurch entsteht ein fortwährender Kreislauf des Wassers in der Natur, dessen Bedeutung für das animalische und vegetabilische Leben, ja für die äußere Gestaltung der Oberfläche der Erde nicht hoch genug anzuschlagen ist.

Wir wollen hier aber bloß jenen Teil dieses Vorganges betrachten, welcher in den oberen Bodenschichten abläuft und für das hygienische Verhalten des Bodens von besonderer Bedeutung ist.

Nach allgemeiner Schätzung pflegt von dem auf den Boden fallenden Regenwasser $^1/_3$ oberflächlich in die benachbarten Bäche, Flüsse etc. abzufließen; hierdurch werden eventuell Ueberschwemmungen verursacht, auf deren sanitäre Bedeutung an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden kann.

Ein zweites Drittel des Wassers wird wieder verdunsten und sich mit den übrigen Dämpfen im Luftmeer vermengen, um bei nächster Gelegenheit wieder als Regen zur Erde zurückzukehren; diese von der feuchten Bodenoberfläche verdunstenden Wassermengen sind es hauptsächlich, welche die Luft über nassen Ebenen feucht machen.

Das letzte Drittel des Wassers endlich wird in den Boden eindringen und hier wichtige hygienische Prozesse hervorrufen.

Es ist klar, daß die Verteilung nach Dritteln nur einer ganz oberflächlichen Schätzung entspricht, und dass in konkreten Fällen sehr bedeutende Abweichungen obwalten können. In diesen Fällen ist die Abweichung durch offenbare Gründe motiviert; so wird z. B. auf einem geneigten Terrain ein größerer Bruchteil des Regenwassers oberflächlich abfließen und weniger in den Boden eindringen, als an ebenen oder muldenförmigen Stellen, und ersteres infolgedessen trockener sein als die letzteren.

Die eindringende Wassermenge muß aber auch nach den Verdunstungsverhältnissen verschieden sein. Doch darf nicht außer Acht gelassen werden, daß von einer feuchten Bodenfläche im großen Ganzen mehr Wasser verdunsten wird als von einer gleich großen Wasserfläche, weil der Boden mit seiner nicht glatten, sondern unebenen Oberfläche der austrocknenden Luft eine größere Berührungsfläche darbietet als ein glatter Wasserspiegel. Dies ist aber nur so lange der Fall, als die Bodenoberfläche reichlich befeuchtet ist, also unmittelbar nach einem Regen; in dem Maße, als dieselbe austrocknet, wird die Verdunstung immer langsamer vor sich gehen, bis sie endlich, nachdem die oberflächliche Schicht eine gewisse Trockenheit erlangt hat, sehr gering wird, wo dann nur die von unten durch Kapillarität (s. diese) gehobene Feuchtigkeit verdunstet.

Hieraus ist erklärlich, warum die üblichen meteorologischen Angaben über Regenmenge und Verdunstungsgröße ein richtiges Bild von den Wassermassen, die in den Boden eindringen oder wieder verdunsten, nicht liefern. Nach jenen Angaben würde, namentlich in kontinentalen Gegenden, mehr Wasser von der Wasserfläche des gefüllten Evaporimeters verdunsten, als die gesamte Niederschlagsmenge ausmacht, was doch ganz falsch sein muß. So würde zu Petro-Alexandrowsk (Centralasien, 51,5 ° n. Br., 61,1 ° ö. Lg.) einer jährlichen Niederschlagsmenge von 6,5 cm gegenüber die Verdunstung 232 cm betragen [1].

Andere vergleichen auf einem Gebiete die Niederschlagsmenge mit der Wassermenge der von demselben Gebiet abgeleiteten Wasserläufe oder Drainröhren und folgern hieraus, wie viel Wasser im Boden verblieben ist.

Ein richtigeres Bild von der verdunsteten und in den Boden eingedrungenen Wassermenge liefern die sogen. lysimetrischen Beobachtungen, welche anzeigen, wie viel von dem auf die Bodenoberfläche gefallenen Regenwasser in die in verschiedener Tiefe im Boden untergebrachten Sammelgefäße gelangt. Obschon es eine große Anzahl solcher Beobachtungen giebt, muß doch konstatiert werden, daß aus denselben eine genaue allgemeine Regel nicht abgeleitet werden kann, weil die Menge des in die Tiefe dringenden Regenwassers von den kompliziertesten konkreten Lokalverhältnissen abhängig ist. Immerhin wird der in die Tiefe gelangende Teil in Deutschland auf 11,7—17,9 Proz., und in England auf 14,9—24,3 Proz. der Regenmenge geschätzt [2].

In der Nähe des Meeres ist, infolge größeren Wassergehaltes der Luft, die Verdunstung geringer, es wird also mehr Wasser in den Boden eindringen; auch im Winter und Frühjahr ist die Verdunstung geringer als im Sommer und Herbst, es wird also im ersteren Fall mehr Regenwasser in die unteren Bodenschichten gelangen als im letzteren. Im Sommer und Herbst kann es sogar, bei sehr trockenem Boden, vorkommen, daß selbst bei einem starken Regenfall überhaupt nichts bis in die tieferen Bodenschichten vordringt, sondern erst in den oberen Schichten zurückgehalten wird und dann von hier wieder verdunstet. Nach den im großen Maßstab angestellten Beobachtungen von Risler [3] betrug nämlich auf Feldern das durch Drainrohre (also in tieferen Bodenschichten angelegte Sammler) abfließende Wasser

im Winter	67,3	Proz. der gesamten Regenmenge
„ Frühjahr	35,5	„ „ „ „
„ Sommer	0,2	„ „ „ „
„ Herbst	9,5	„ „ „ „

Die Befeuchtung des Bodens durch das Regenwasser wird aber auch vom Verhalten des Bodens selbst gegen das eindringende Regenwasser reguliert. Wie der Boden sich zu Regen und Feuchtigkeit verhält, wird von den folgenden Bodenverhältnissen abhängen:

a) Durchlässigkeit (Permeabilität) des Bodens für Wasser*).

Es braucht kaum erwähnt zu werden, daß gewisse kompakte Bodenarten (z. B. Granit, Schiefer) beinahe ganz undurchlässig sind, und ebensowenig bedarf es einer eingehenden Beweisführung, daß auch Granit durchlässig wird, wenn sich Spalten bilden und diese mit Detritus ausgefüllt werden.

Ein vollkommen kompakter und wasserdichter Felsboden ist äußerst selten, denn es sind selbst scheinbar kompakte Felsböden eigentlich nicht impermeabel; klare Beweise liefern hierzu die an vielen Orten gebräuchlichen, aus kompaktem Sand- oder Kalkstein (besonders aus Kalktuff) gefertigten Filtersteine. Inbesondere Pettenkofer hat in seinen Schriften wiederholt darauf aufmerksam gemacht, wie irrtümlich es ist, wenn man einen sogenannten Felsboden eo ipso für wasserundurchlässig hält. Er wies namentlich Drasche gegenüber nach, daß der Felsboden des Karstgebirges sehr zerklüftet und leicht permeabel ist; desgleichen hat er die Wasserdurchlässigkeit der Felsböden von Malta und Gibraltar (Sandstein) bewiesen[4].

Aber auch der gewöhnliche, verwitterte Boden zeigt sich von verschiedener Durchlässigkeit für das auffallende Regenwasser. Dies kann durch einen einfachen Vorlesungsversuch demonstriert werden:

Man bringe in Glasröhren oder Trichter von gleicher Weite, deren untere Oeffnung mit Glasperlen und durchbohrten Gummipfropfen verschlossen sind, verschiedene natürliche Bodenproben, wie: Kies, Grobsand, Feinsand, sandigen Lehm, reinen plastischen Lehm (Thon), Humus, Torfboden u. s. w., benetze dieselben und gieße dann auf jede Probe die gleiche Menge Wasser auf; letzteres wird vom Kies sofort, von den übrigen Bodenproben aber erst später ablaufen. Von einigen (plastischem Thon) läuft aber selbst nach Tagen überhaupt nicht ein Tropfen ab.

Die verschiedene Permeabilität der einzelnen Bodenarten für Wasser ist bereits durch zahlreiche Versuche festgestellt: So hat sich Schwarz[5] aus folgenden Bodenarten Proben von 10 cm Höhe und 10 cm Oberfläche bereitet und unter gleichem Druck Wasser durch dieselben filtrieren lassen; es waren binnen 24 Stunden durchgeflossen:

durch	Quarzsand	5760	ccm
„	Lösslehm	1674	„
„	Moorboden	1	„
„	Thon	0,7	„

Zahlreiche Versuche wurden auch zur Ermittelung der Ursachen dieser verschiedenen Permeabilität angestellt. Das Ergebnis

*) Die Durchlässigkeit des Bodens für Wasser und das übrige Verhalten des Bodens gegenüber dem Wasser und der Feuchtigkeit findet man in landwirtschaftlichen und hygienischen Büchern mit sehr abweichenden Nomenclaturen bezeichnet. Das führt häufig zu Mifsverständnissen, zu deren Vermeidung ich die im folgenden benutzten Benennungen für zweckmäfsig halte.

läßt sich im allgemeinen dahin resumieren, daß die Permeabilität des Bodens für Wasser von der Korngröße des Bodens abhängt. Ein feinkörniger, z. B. ein Lehmboden, ist sehr wenig permeabel[6]. Vermindert wird die Permeabilität selbst in einem grobkörnigen Boden, wenn zwischen das grobe Material auch nur wenig feiner Detritus, besonders Thon gemengt ist[7]. Desgleichen wird die Permeabilität durch organische Substanzen und ganz besonders durch Setzen und Stampfen des Bodens vermindert, während ein gelockerter, wenn auch lehmiger Boden das Wasser leichter durchläßt.

Aus alledem folgt, daß das Wasser von einem Lehmboden, besonders wenn dieser Ebenen oder Mulden bildet, nicht nur schwach ablaufen, sondern auch nur langsam in die Tiefe eindringen kann. Ein Lehmboden ist daher zur Feuchtigkeit und Sumpfbildung geeignet, während grobkörnige permeable Bodenarten (Kies, Sand) das Wasser nicht auf der Oberfläche zurückhalten, nicht feucht und nicht sumpfig sind.

b) Wasserbindende Kraft des Bodens.

Eine auffallende Eigenschaft des Bodens ist es, daß auf einen trockenen oder doch nicht gesättigten Boden aufgegossenes Wasser zwar darin zurückgehalten wird, aber nur in einer bestimmten, für die einzelnen Bodenarten konstanten Menge. Was über diese hinaus aufgegossen wird, fließt unvermindert ab.

Dies kann durch folgenden Vorlesungsversuch demonstriert werden: Man bringt verschiedene lufttrockene Bodenproben von bekanntem Gewicht oder Volumen in der oben (S. 70) beschriebenen Weise in Glastrichter oder Röhren, wo sie festgestampft werden. Dann gießt man abgemessene, überschüssige Wassermengen auf. Von den einzelnen Bodenproben werden nun verschiedene Wassermengen abfließen, also auch verschiedene Mengen im Boden zurückbleiben. Wird noch mehr Wasser aufgegossen, so sieht man dieses — mit Berücksichtigung des Verdunstungsverlustes — unverkürzt abträufeln. (Bei humösem Boden, welcher das Wasser nur langsam aufnimmt, muß man vorsichtig aufgießen, da eine Zeit lang von neueren Wassermengen immer noch etwas zurückgehalten wird.)

Auf diese Weise gelingt es, die wasserbindende Kraft des Bodens, d. h. diejenige Wassermenge zu bestimmen, die ein Boden im Gewichts- oder Volumenverhältnis im Inneren zurückzuhalten, zu binden imstande ist.

Aehnliche Versuche wurden mit verschiedenen Bodenarten in großer Anzahl ausgeführt. Bei den Versuchen von Schübler[8] waren von dem im Ueberschuß aufgegossenen Wasser zurückgehalten worden:

Bodenart	in 100 Gewichtsteilen trockenen Bodens			in 1000 Raumteilen trockenen Bodens		
Quarzsand	25	Gewichtst.	Wasser	499	Raumt.	Wasser
Gips	27	„	„	501	„	„
Kalksand	29	„	„	582	„	„
Sandiger Lehm	40	„	„	682	„	„
Reiner Thon	70	„	„	875	„	„
Kalkhaltiger Lehm	85	„	„	808	„	„
Humöser Boden	190	„	„	935	„	„

Ein Kiesboden hält noch weniger Wasser zurück, als in obiger Versuchsreihe der Quarzsand, andererseits Torf noch mehr als ein

einfach humöser Boden. Wie bekannt, giebt es Torfarten, welche das Zehnfache ihres Gewichtes an Wasser aufnehmen und zurückhalten können.

Aus den einschlägigen Versuchen geht klar hervor, daß die wasserbindende Kraft von den zwischen den Erdpartikeln befindlichen kapillaren Hohlräumen abhängt. Je feinkörniger ein Boden ist, um so mehr Hohlräumchen von kapillarer Feinheit muß er (wie unten gezeigt wird) enthalten, und um so größer ist auch seine wasserbindende Kraft. Das in den Boden gelangende Wasser wird ja diese Kapillarräume occupieren und infolge der bekannten Kapillaritätsgesetze dem Boden um so fester anhaften, je enger die Kapillarröhren sind. So fand z. B. Hofmann [9] folgende Werte für die wasserbindende Kraft von Quarzsand Kiesgemengen von verschiedenem Korn:

1. Korngröfse	2. Freies Porenvolumen	3. Volumen des zurückgehaltenen Wassers auf 1000 Vol. Boden	4. Prozente des Porenvolumens, die mit Wasser erfüllt wurden
Kleiner als 0,5 mm	41,3 %	347	84,0
„ „ 0,5 „	41,3 „	270	65,4
„ „ 1,0 „	40,0 „	150	37,5
„ „ 2,0 „	41,0 „	98	23,9
„ „ 3,0 „	41,8 „	77	18,4
„ „ 5,0 „	43,4 „	55	12,7

Das heißt: je feinkörniger der Boden war (1), also je feiner die Kapillarräume, um so mehr Wasser wurde zurückgehalten (3), denn ein um so größeres Prozent der Kapillarräume wurde mit durch Kapillarität zurückgehaltenem Wasser erfüllt (4). In einem grobkörnigen Boden hingegen werden, da die Hohlräume zwischen den Erdteilchen sehr weit sind, die Bodenpartikel bloß oberflächlich benetzt. Es wird in den Zwischenräumen nur sehr wenig Wasser zurückgehalten und nur ein geringer Bruchteil der Räume durch Wasser erfüllt.

Renk kam zu dem interessanten Ergebnis, daß die gebundene Wassermenge größer ist, wenn die Durchfeuchtung von unten aufsteigend (mittelst Einstellen in Wasser) erfolgt, als wenn das Wasser (mittelst Begießen) von oben nach abwärts in den Boden eindringt [10]. Dies ist offenbar so zu erklären, daß die Bodenprobe vom aufsteigenden Wasser gleichmäßiger durchdrungen wird, als wenn das Wasser vermöge der Schwerkraft nach abwärts eilt, hierbei stellenweise einzelne Bodenteile inselartig einschließt und die enthaltene Luft am Entweichen behindert.

Hieraus ergiebt sich, daß in den oberflächlichen Schichten eines feinkörnigen Bodens sehr große Mengen Regenwasser zurückgehalten werden können. In einem Lehmboden wird von dem auf die Oberfläche gelangten Regenwasser, selbst bei Platzregen, kaum etwas in die tieferen Bodenschichten vordringen, wenn die Oberfläche trocken war, weil letztere alles Wasser absorbiert. So kann z. B. ein Niederschlag von 50 mm Höhe schon durch eine 57 mm starke Schicht Lehmboden (oder 100 mm Quarzsand), falls der Boden trocken ist, vollständig gebunden werden, so daß gar nichts in die tieferen Bodenschichten gelangt. Dies beweisen auch die sogenannten lysimetrischen Beobachtungen, wie sie z. B. bei Pfeiffer zu lesen sind [11].

Die wasserbindende Kraft wird also in einem feinkörnigen Lehm-, Humus- oder Torfboden starke Feuchtigkeit verursachen; in diesen Bodenarten können große Wassermengen aufgespeichert werden und

dann in die auf dem Boden stehenden Gebäude gelangen. Ein jeder Kubikmeter Lehmboden magaziniert 600—800 kg Wasser neben oder unter unsere Wohngebäude, und trägt dazu bei, daß die Wände konstant mit Feuchtigkeit benetzt werden, während ein Kiesboden, welcher kaum 50 kg Wasser pro Kubikmeter bindet, den Gebäuden nur wenig Feuchtigkeit mitteilt.

Auch ein verunreinigter Boden mit einem hohen Gehalt an organischen Substanzen wird aus den genannten Gründen feuchter sein als ein reiner Boden. Ersterer hat eine größere wasserbindende Kraft und wird mehr Wasser zurückhalten (Fodor, Hofmann).

Wenn ein Boden bis zur Grenze seiner wasserbindenden Kraft durchfeuchtet ist, erhöht eine weitere, reichliche Befeuchtung die absorbierte Wassermenge nicht mehr. Dies geht z. B. aus den Versuchen von Hofmann hervor, wo Bodenproben von verschiedener Korngröße benetzt und dann mit gleichen Wassermengen (je 50 ccm) begossen wurden; es waren stets wieder 50 ccm (oder doch sehr nahe so viel) abgeflossen.

Noch interessanter und wichtiger ist aber die Thatsache, daß, sobald man auf einen bis zur Grenze der wasserbindenden Kraft saturierten Boden neue Wassermengen aufgießt, im selben Moment das Wasser unten abzuträufeln anfängt. Das heißt: nicht das frisch aufgegossene Wasser gelangt nach unten, sondern dasjenige, welches früher in den Bodenkapillaren sich befunden hat, verläßt den eingenommenen Raum und an dessen Stelle dringt frisches Wasser in den Boden ein. Durch frisch aufgegossenes Wasser wird also das vorhin dort befindliche deplaciert.

Dies geschieht auch im nicht saturierten Boden, wenn das alte und neue Wasser zusammen die wasserbindende Kraft des Bodens übersteigen, und zwar entspricht die deplacierte Menge genau diesem Plus.

Ebenso wie in dem geschilderten Versuch wird das auf einen feuchten Boden gefallene Regenwasser das im Boden vorhandene Wasser vor sich her drängen, in den tieferen Bodenschichten werden die aus den oberen Schichten durch neuere Regenfälle deplacierten Wassermassen auftreten, und die oberen Schichten werden immer von den neu hinzutretenden Wassermengen gefüllt. Auf diese Weise kann es geschehen, daß der Regenfall das eine Mal eine Wassermasse deplaciert und in die Tiefe (ins Grundwasser) drängt, welche längere Zeit hindurch in verunreinigten Bodenschichten gestanden und diese ausgelaugt hatte, während zu anderen Zeiten, durch rascher sich wiederholende Regenfälle, Wassermassen deplaciert und in das Grundwasser gedrängt werden, welche in den verunreinigten Bodenschichten nur kurz verweilt und dieselben auch kaum ausgelaugt hatten.

Dieses Deplacieren des älteren Wassers durch neueres und das schichtenweise Abwärtsdringen von mehr oder minder verunreinigten Wässern, wird sehr zutreffend durch die Versuche von Hofmann[12] illustriert, in welchen auf die Bodenproben abwechselnd Kochsalzlösungen und reines Wasser gegossen wurden. Es stellte sich hierbei heraus, daß das reine Wasser die Kochsalzlösung und vice versa einfach vor sich her drängt, und die aufgegossenen Flüssigkeiten ohne Mischung in derselben Reihenfolge, wie sie aufgegossen wurden, abträufeln.

Diese Erscheinungen sind überaus wichtig. Wir verstehen jetzt, wie das Wasser in mit organischen Substanzen verunreinigten

Boden vordringt und wie eine zeitweilige Verunreinigung des Grundwassers (der Brunnen) durch das von oben herabfiltrierte Wasser zustande kommt.

c) Wasserfassungsvermögen des Bodens = Wasserkapazität.

Von der wasserbindenden Kraft des Bodens zu unterscheiden ist seine Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, d. h. die Wasserkapazität. Hierunter versteht man diejenige Wassermenge, die ein gewisses Gewicht oder Volumen Boden zu fassen imstande ist*). Die Kapazität hängt davon ab, wie viel Hohlraum sich zwischen den Erdpartikeln befindet, ist also dem Porenvolumen des Bodens ganz kongruent. Weiter unten, bei der Besprechung des Luftgehalts des Bodens wird gezeigt werden, daß je feinkörniger ein Boden, um so größer auch die Summe seiner Hohlräume ist. Nach direkten Bestimmungen beträgt die Summe der Hohlräume 25—50 Proz. des Bodenvolumens, kann aber in Torfboden bis 80 und mehr Volumenprozente erreichen. Im Mittel enthält der natürliche verwitterte Boden mindestens 30 Proz. seines Volumens an Hohlräumen. Den Hohlräumen wird auch das Fassungsvermögen der Bodenarten für Wasser oder die Wasserkapazität entsprechen. Diese Größe ist besonders darum wichtig, weil sie aussagt, wie viel Wasser in einer vollkommen erfüllten Bodenschicht enthalten ist, also wie viel Brunnen- oder Trinkwasser aus verschiedenen Bodenarten zu erwarten steht.

d) Einfluß der Kapillarität des Bodens auf die Bodenfeuchtigkeit.

Die Kapillarität fixiert einerseits das in den Boden gelangende Wasser und hilft andererseits dasselbe im Boden zu verteilen und auszugleichen. Vermöge der Kapillarität wird die Feuchtigkeit sich allmählich von Kapillare zu Kapillare, von der sehr feuchten Stelle zur minder feuchten so lange bewegen, bis der Wassergehalt in jedem Bodenquerschnitt der gleiche ist.

Von diesen durch die Kapillarität bewirkten Bewegungen der Feuchtigkeit ist die aus den tieferen zu den oberflächlichen Bodenschichten gerichtete für uns am wichtigsten.

Für die verschiedenen Bodenarten ist die Kapillaritätsgröße verschieden groß. Das geht aus Meister's Versuchen hervor.

Derselbe[13] hat verschiedene Bodenarten in Glasröhren gebracht, in Wasser gestellt und das Aufsteigen der Feuchtigkeit beobachtet. Dasselbe erfolgte in Lehmboden zwar langsam, aber anhaltend, und das Wasser gelangte auf beträchtliche Höhen. In Quarzsand hingegen stieg das Wasser zwar schnell empor, aber binnen kurzem verlangsamte sich das Aufsteigen und hörte ganz auf, sodaß die in den beiden Bodenproben während der ersten halben Stunde erreichten

*) Diese beiden Begriffe findet man in landwirtschaftlichen und hygienischen Fachwerken häufig promiscue gebraucht, und sowohl das Bindungs- als das Fassungsvermögen des Bodens als Kapazität bezeichnet, und zwar das erstere als absolute oder kleinste, das letztere als volle oder größte Wasserkapazität. Ich halte die von mir befolgte Nomenklatur für zweckmäfsiger.

Steigehöhen sich wie 340 zu 440, nach $21^1/_2$ Stunden aber wie 2000 zu 1170 verhielten*).

Die Steigehöhe ist hauptsächlich von der Feinheit der kapillaren Zwischenräume abhängig. Nach Edler (Soyka a. a. O.) betrug sie in Alluviallehm von verschiedener Korngröße:

Das Wasser war	Korngröfse in Millimetern I	II	III	IV
gestiegen cm	1,0—0,5	0,5—0,25	0,1—0,05	0,01
Nach 24 Stunden	6	16	56	11
im Maximum	10	27	70,5	97,25
(in Tagen)	(126)	(55)	(38)	(142)

Ueber die maximale Höhe, bis zu welcher das Wasser durch Kapillarität in einem natürlichen Boden aufsteigen kann, sind nur wenig Untersuchungen bekannt. Und doch wäre es in hygienischer Beziehung wichtig, gerade hierüber näheres zu wissen, weil es ja gerade von der maximalen Steigehöhe abhängt, ob und aus welcher Tiefe das Grundwasser imstande ist, die Fundamentmauern von Gebäuden, ferner die oberflächlichen, mehr verunreinigten Bodenschichten zu durchfeuchten.

Am lehrreichsten ist noch die Angabe von Vincent[14], der es als erwiesen annimmt, daß das Wasser durch Kapillarität im Sandboden bloß 0,5 m hoch ansteigt, in Moortorf aber auch 6 m erreichen kann.

Hiernach müßte in feinkörnigen Bodenarten, wie Lehm, Feinsand, insbesondere aber in Torf und in einem an organischen Substanzen reichen Boden der Abstand von den Grundmauern der Gebäude bis zum Grundwasserspiegel größer sein als z. B. in Kies- oder grobkörnigem Sandboden.

In einem durch aufsteigende Kapillarität befeuchteten Boden sind die Hohlräume zwischen den Erdpartikeln nicht ganz vollständig mit Wasser angefüllt. Mit zunehmender Entfernung vom Grundwasserspiegel nimmt die Zahl der vom Wasser erfüllten Hohlräume ab, und es bleiben nur die allerfeinsten Kapillarräume mit Wasser erfüllt.

Durch die Kapillarität wird die Bodenfeuchtigkeit in konstanter Bewegung erhalten, deren Richtung vom Grundwasser zur Bodenoberfläche gerichtet ist, weil an dieser durch Austrocknen fortwährend Wasser verdunstet. Doch ist dieselbe physikalische Kraft offenbar nach allen Richtungen, nicht bloß nach aufwärts hin thätig. Es muß im allgemeinen von feuchteren Bodenschichten zu den trockeneren hin ein konstanter Strom bestehen, welcher sogar kräftiger sein kann als der nach aufwärts gerichtete, weil z. B. nach den Seiten hin die Schwere des Wassers der Kapillarität minder entgegenwirkt. Aus diesem Grunde würde das Wasser durch Kapillarität nach abwärts am raschesten geleitet werden, da hier beide Kräfte in derselben Richtung wirken. Daß aber die Schwerkraft nicht über die Kapillarität zu überwiegen vermag, ist durch die beträchtliche wasserbindende Kraft

*) Dieser Versuch eignet sich auch als Vorlesungsdemonstration, wenn man verschiedene Bodenproben, die 1 und 24 Stunden in Wasser gestanden hatten, vorweist. Nach 1 Stunde steht das Wasser noch im Sandboden höher, nach 24 Stunden aber schon im Lehmboden. Die Bodenproben dürfen nicht festgestampft werden, weil dann die Erdsäule — besonders im Lehmboden — unterbrochen und das Wasser nicht aufsteigen wird.

der Bodenarten bewiesen. In der That wird Kapillarität wieder nur durch kapilläre Kräfte, resp. durch Austrocknen überwunden; d. h. den vermöge ihrer wasserbindenden Kraft kapillare Feuchtigkeit enthaltenden Bodenschichten kann das Wasser nur durch die kapillare Attraktion benachbarter trockener Schichten entzogen werden. Die kapillare Feuchtigkeit wird also den bisher eingenommenen Raum zum Teil verlassen und sich verteilen, wenn in den anstoßenden Teilen der Boden austrocknet und der Wassergehalt in den kapillaren Hohlräumen abnimmt. Auch diese Bewegung der kapillaren Feuchtigkeit ist eine kontinuierliche und von den feuchteren Bodenschichten zu den minder feuchten gerichtet. Damit der Boden an die benachbarten trockenen Schichten Feuchtigkeit abgebe, dazu braucht er selbst gar nicht reichlich oder gar über die Grenze der wasserbindenden Kraft hinaus gesättigt zu sein; es genügt vielmehr, wenn die anstoßende Bodenschicht trockener ist. Nur das ist wichtig, daß die kapillaren Hohlräume im trockenen Boden ebenso fein seien als im feuchten, weil sonst die Kapillarkraft des trockenen Bodens nicht imstande ist, diejenige des feuchten Bodens zu überwältigen.

Daß das Wasser aus durch Kapillarität mehr befeuchteten Bodenschichten in die minder befeuchteten auch dann sich bewegen wird, wenn die kapillaren Hohlräume nicht ganz mit Wasser erfüllt sind, geht aus der Beobachtung von Liebenberg[15] hervor, wonach das Aufsteigen der Feuchtigkeit in der Bodenprobe fortdauerte, nachdem das untere Ende der Röhre aus dem Wassergefäß herausgehoben war.

Wir sehen also in der Kapillarität eine wichtige Kraft, welche auf die Bodenfeuchtigkeit fortwährend ausgleichend wirkt. Eine beachtenswerte Folge dieser Wirkung ist die, daß die Feuchtigkeit auch in den von Gebäuden bedeckten Bodenpartien schwanken muß; denn obschon hier kein Regenwasser auf die Bodenoberfläche gelangt, wird die Feuchtigkeit von dem umliegenden regenbefeuchteten Areal auch unter das Gebäude in dem Maße einsickern, als jenes Areal feucht ist und als sich die Kapillaritäten der beiden Bodenarten zu einander verhalten. Wenn der Boden unter dem Gebäude bedeutendere kapillare Eigenschaften besitzt als der umliegende, wird die Feuchtigkeit größtenteils unter das Gebäude hinziehen, im entgegengesetzten Fall aber dem umliegenden Boden, auch bei überschüssiger Feuchtigkeit, nur wenig entzogen werden. Demgemäß muß im Frühjahr, wenn der Boden in der Umgebung der Häuser von Schnee und Regen mit Feuchtigkeit getränkt ist, diese infolge der Kapillarität unter die Häuser abgegeben werden, weil jetzt hier der Boden trockener ist; das Gegenteil geschieht gegen den Herbst, zu welcher Zeit der umliegende Boden durch die ungehinderte Verdunstung sein Wasser allmählich verloren hat; jetzt wird das kapillare Wasser vom Untergrund der Häuser, wo die Verdunstung mehr behindert war, in die Umgebung austreten.

Diese Bewegungen und Ortsveränderungen der Bodenfeuchtigkeit sind noch nicht hinlänglich studiert und gewürdigt worden.

e) Absorption von Wasserdampf im Boden*).

Ein mehr oder minder trockener Boden vermag aus der feuchteren

*) Auch wasseranhaltende, wasserabsorbierende, wasserkondensierende Kraft des Bodens genannt.

Luft Wasserdampf zu absorbieren. Aus den zahlreichen einschlägigen Untersuchungen (Babo, Ammon u. a.) mögen hier einige Angaben von Schübler[16] folgen, welche die Frage richtig beleuchten.

Gleiche Gewichtsmengen (je 5 g) getrockneter Bodenproben wurden flach verteilt und in einer mit Wasserdampf nahezu gesättigten Luft (von 19° C.) exponiert; die Gewichtszunahme betrug auf 1000 Gewichtsteile berechnet:

nach	12 h	24 h	48 h	72 h
Quarzsand . . .	0	0	0	0
Kalksand	2	3	3	3
Lettenartiger Thon .	21	26	28	28
Lehmartiger Thon .	25	30	39	35
Reiner grauer Thon	37	42	48	49
Humus	80	97	110	120

Wie ersichtlich, ist die Absorption von Wasserdampf ein ziemlich bedeutender Faktor für die Durchfeuchtung des Bodens. Letztere erfolgt hier hauptsächlich in der oberflächlichen Bodenschicht; hier wird im Sommer und Herbst nach dem Austrocknen am Tage aus der Abendluft Feuchtigkeit absorbiert, und auch die aus dem Boden aufsteigende feuchte Grundluft wird ihren Wasserdampf zum Teil hier verlieren, wenn die oberflächliche Bodenschicht stark ausgetrocknet ist.

Diese Art Bindung von Wasserdampf kann in einem humösen Boden bei feuchter Luft bewirken, daß die Vegetation auch ohne Regenfälle längere Zeit am Leben bleibt, und ist für diese in regenlosen, heißen Gegenden ein wahrer Segen. In hygienischer Beziehung kann dieselbe weniger mit wichtigeren Thatsachen in Zusammenhang gebracht werden.

f) Kondensation von Wasserdampf im Boden.

Wenn eine kalte Bodenschicht mit wärmerer, feuchter Luft in Berührung tritt, wird sich der Wasserdampf auf dem Boden kondensieren. Dies geschieht an kühlen Abenden und in kalten Nächten an der Oberfläche des durch Ausstrahlung rasch sich abkühlenden Bodens und auf den Pflanzen, die ihn bedecken. Durch Kondensation entstehen je nach der Temperatur Tau oder Reif. Doch wird auch die aus den wärmeren Bodenschichten aufsteigende feuchte Grundluft (s. unten) beim Durchgang in den kälteren Bodenschichten ihren Wasserdampf zum Teil niederschlagen.

Das sind also wiederum neue physikalische Kräfte, die zur Durchfeuchtung des Bodens und zur gleichmäßigen Verteilung der Bodenfeuchtigkeit beitragen. Aber auch hier müssen wir gestehen, daß die geschilderten Erscheinungen wohl für den Ackerbau von großer Wichtigkeit sind, in ihren hygienischen Beziehungen aber vorläufig noch der Würdigung harren *).

g) Austrocknung des Bodens.

Die Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens werden noch wesentlich durch die Verdunstung des Wassers aus dem Boden, durch

*) Einige Autoren (Volgers u. a.) meinen, dafs alles Grund- und Quellwasser aus der Luft kondensiert wäre, doch ist diese Ansicht hinreichend widerlegt worden (von Soyka, Hann, Wollny, Ebermayer), sodafs Günther mit Recht beantragen konnte, sie aus der Diskussion zu streichen. Lehrb. d. physik. Geographie, Stuttgart (1891), 336.

die Austrocknung des letzteren beeinflußt. Diese ist im wesentlichen von zwei Faktoren abhängig: von der Luft, die austrocknend wirkt, und vom Boden, der die Feuchtigkeit abgiebt.

Es braucht nicht eingehender motiviert zu werden, wie die Trockenkraft der Luft wieder von mehreren Faktoren, nämlich von Wassergehalt, Temperatur, Bewegung u. a. bestimmt wird; ebenso ist andererseits auch die Fähigkeit des Bodens, auszutrocknen, von mehreren Faktoren abhängig, von welchen als erstes das Bodenmaterial zu erwähnen ist.

Schübler[17] hat verschiedene Bodenproben mit Feuchtigkeit gesättigt und unter analogen Verhältnissen bei einer Temperatur von 15 ° R. zum Trocknen ausgesetzt. Nach 4 Stunden betrug der Verlust, auf je 100 Gewichtsteile gebundenes Wasser berechnet:

in Quarzsand . . .	88,4	Gewichtsteile
„ Kalksand . . .	75,9	„
„ lettenartigem Thon	52,0	„
„ lehmigem Thon .	45,7	„
„ Humus	20,5	„

Hieraus kann gefolgert werden, daß die Trockenheit von Sandböden auch durch das rasche Austrocknen hervorgerufen wird, während lehmige, humöse und verunreinigte Bodenarten infolge des schwereren Austrocknens eine mehr konstante Feuchtigkeit besitzen werden.

Auf diese Verdunstung ist die Korngröße des Bodens von entscheidendem Einfluß; das geht aus obiger Tabelle sowie aus den Versuchen von Eser hervor (s. Soyka, a. a. O.).

Die Verdunstung wird selbstverständlich auf der Oberfläche des Bodens am raschesten vor sich gehen, da diese mit der größten Luftmenge in Berührung kommt, während sie in den tieferen Bodenschichten auf ein Minimum herabsinkt; ebenso selbstverständlich wird es sein, daß ein kahles, offenes Terrain der Verdunstung förderlicher ist, als ein mit Gebäuden, Ortschaften, Pflaster etc. bedeckter Boden. Durch Vegetation kann die Verdunstung behindert (Waldungen), aber auch beschleunigt werden (Eucalyptus, Sonnenblumen etc.).

Aus obigen Erörterungen dürfte sich ergeben, daß das an der Oberfläche verdunstete Wasser einerseits aus den tieferen Bodenschichten, von wo bei trockenem Wetter ein kapillarer Feuchtigkeitsstrom kontinuierlich aufsteigt, andererseits aber aus der Luft ersetzt wird, von wo am Abend und in der Nacht Wasserdampf absorbiert und kondensiert wird.

Der Trockenheitsgrad der oberflächlichen Bodenschicht ist mithin von sehr komplizierten Verhältnissen abhängig, nämlich: (von den Regen- und Verdunstungsverhältnissen abgesehen) vom Wassergehalt der unteren Bodenschichten, von der Kapillarität der bis dahin hinunterreichenden Schicht, vom Verdunstungs- und Absorptionsvermögen der Oberfläche für Wasser u. a. Hieraus folgt aber, daß die Austrocknungsverhältnisse des Bodens an einem gegebenen Orte nur dann gewürdigt werden können, wenn man alle die Befeuchtung und Austrocknung des Bodens beeinflussenden Faktoren kennt und in Betracht zieht.

2. Befeuchtung des Bodens durch Grundwasser.

In obigen Erörterungen über die Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens wurde der Regen gewürdigt, welcher die meiste Feuchtigkeit

liefert, dann die Konfiguration des Bodens, welche der Wirkung des Regens Beschränkungen auferlegt, endlich insbesondere auch das Verhalten des Bodens selbst gegenüber dem hineingelangenden Wasser. Zu ihnen gesellt sich noch ein Faktor von großem Einfluß auf die Bodenfeuchtigkeit: das Grundwasser.

a) Begriff und Ursprung des Grundwassers.

Den Begriff und die Würdigung des Grundwassers hat Pettenkofer in die Hygiene verpflanzt. Nach ihm[18] ist das Grundwasser „jene unterirdische, im porösen Erdreiche befindliche, bald mehr, bald weniger hohe Wasserschicht, welche uns durch das Graben von Brunnen zugänglich gemacht wird."

„Die Grundwässer unserer Bodenflächen können als unterirdische Teiche und Flüsse betrachtet werden, welche mit Alluvionen ausgefüllt und bald mehr, bald minder hoch überschüttet sind, sodaß wir über und auf dem Spiegel derselben wohnen und die Erde bebauen. Wenn wir einen Brunnen anlegen, so graben wir eine Oeffnung durch die Bedeckung dieses unterirdischen Wassers, heben, am Wasserspiegel angelangt, noch einige Fuß tiefer das Material aus, womit das Becken angeschüttet ist, in welcher Höhlung sich dann jenes Wasser ansammelt, welches wir mit Pumpen oder Schöpfeimern an die Oberfläche fördern."

Kürzer und klassischer kann das Grundwasser der Hygieniker gar nicht gezeichnet werden.

Seinen Ursprung hat das Grundwasser gewöhnlich im Regen. Das Regenwasser, welches auf einen permeablen Boden niederfällt und weder oberflächlich abläuft, noch verdunstet, auch nicht gebunden wird, muß nämlich immer tiefer sinken, bis es auf einer undurchlässigen Bodenschicht anlangt (*b*, Fig. 1), wo es sich ansammelt, die Räume zwischen den Erdpartikeln ausfüllt und den Platz der verdrängten Luft einnimmt (*c*).

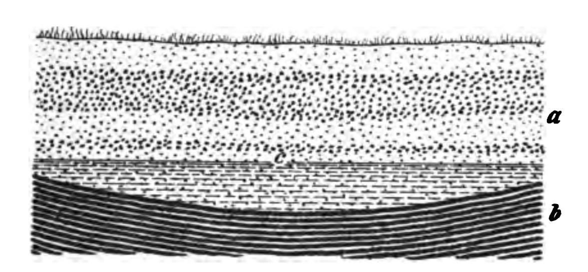


Fig. 1. *a* durchlässige, *b* undurchlässige Bodenschicht, *c* Grundwasser.

Da der Boden in den oberflächlichen Schichten größtenteils aus zerstäubtem, mehr oder minder durchlässigem Material besteht und diese Schichten wieder zumeist durch Sedimentierung zustande gekommen, folglich mehr oder minder horizontal übereinandergelagert sind, ist es nur natürlich, wenn man das Regenwasser an den meisten Stellen zwischen den Bodenschichten thatsächlich als angesammeltes Grundwasser antrifft. Nur in Ausnahmefällen, z. B. infolge allzu starker Neigung oder Impermeabilität der Bodenoberfläche, wird das Wasser

in den Boden überhaupt nicht eindringen, sondern sofort oberflächlich abfließen. Ebenso selten wird die der Oberfläche zunächst gelegene wassersammelnde Schicht so stark geneigt sein (*b*, Fig. 2) daß das bis hierher gelangte Wasser alsobald in die tiefer gelegenen Gebiete abfließen muß. Oder diese impermeable Schicht ist durch von oben nach unten gerichtete,

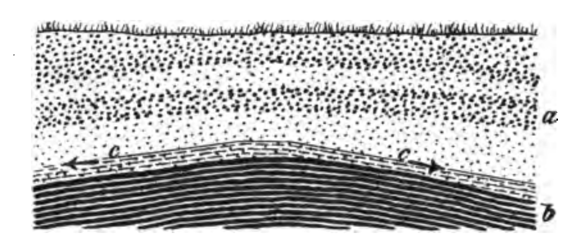


Fig. 2.

mit lockerem Detritus erfüllte Spalten durchbrochen (*b*, Fig. 3), in welchen das Wasser seinen Weg zur Tiefe fortsetzen muß. Dann wird das Grundwasser überhaupt nicht angetroffen werden, sondern weiter sinken (*c*) und eventuell an einer anderen Stelle als Quelle zu Tage treten (*d*)

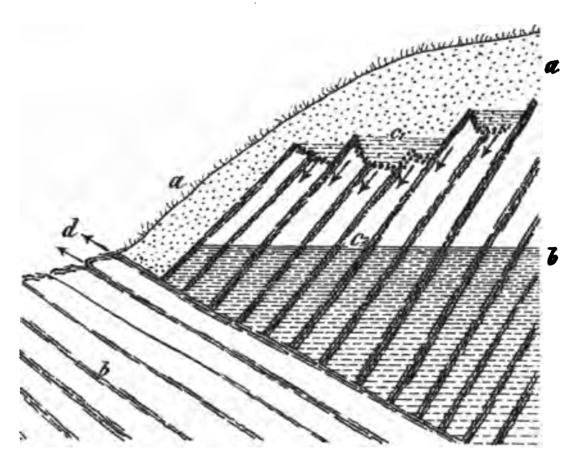


Fig. 3.

Solche Gebiete ohne oder mit unerreichbarem Grundwasser liefern hauptsächlich kahle, felsige Gegenden, impermeable Bodenarten (Lettenboden, Schiefer u. a.), besonders wenn sie sattelförmig oder schief geschichtet und unterbrochen sind. Hieraus wird auch verständlich, warum das Grundwasser auf Bergen und Berglehnen sich weniger ansammelt als auf Ebenen und in Thälern.

(S. Fig. 4 und 5 auf Seite 81.)

In anderen Fällen bildet sich das Grundwasser als Sickerwasser, welches aus benachbarten Flüssen oder Seen in den Boden eindringt. In der Regel nehmen Flüsse und Seen die tiefsten Stellen

des Gebietes ein und bilden das Ziel, dem aus der Umgebung sowohl die oberflächlich abfließenden Regenwässer als die in der Tiefe angesammelten Grundwässer zustreben (Fig. 6). Liegt aber der Wasserspiegel im Fluß oder See höher als die impermeablen Schichten im angrenzenden

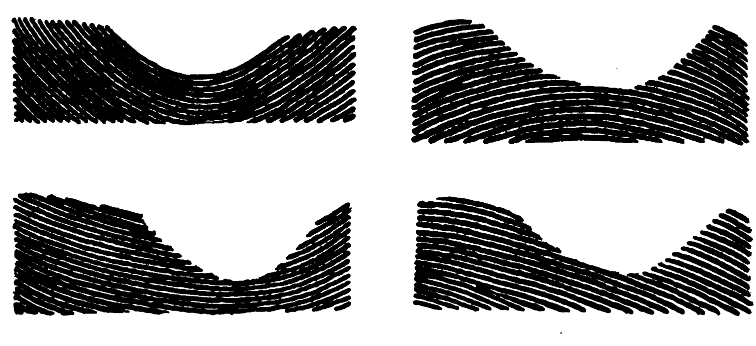


Fig. 4. Fig. 5.

Fig. 4. Zur Ansammlung von Grundwasser geeignete Schichtung des Bodens.
Fig. 5. Zur Ansammlung von Grundwasser nicht geeignete Lagerung der Bodenschichten.

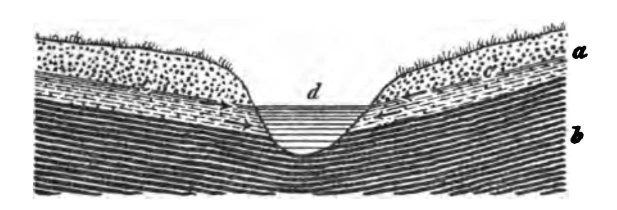


Fig. 6. Dem Flusse zueilendes Grundwasser. *a* durchlässige, *b* undurchlässige Bodenschicht, *c* Grundwasser, *d* Flufs.

Boden und die auf diesem angesammelten Grundwässer, so wird das Wasser aus Fluß oder See durch das Erdreich der Ufer hinausfiltrieren und hier die Bodenschichten ausfüllen (Fig. 7 u. 8). Dies geschieht besonders bei hohem Wasserstand im Flusse, sodaß die benachbarten Gebiete eventuell bloß zeitweilig, d. i. bei Hochwasser, vom Flusse aus mit Grundwasser versehen werden, während zu anderen Zeiten das

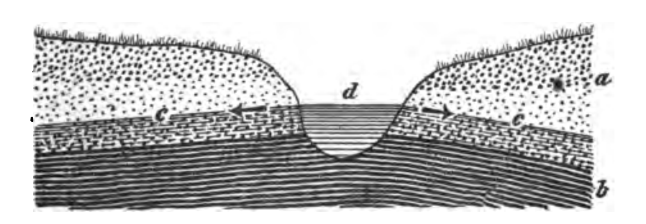


Fig. 7. Vom Flusse gespeistes Grundwasser (Sickerwasser).

natürliche Grundwasser höher steht als der Wasserspiegel im Flusse, also nach dem Flußbett abströmt (Fig. 9).

Eine dritte Bildungsart von Grundwasser ist das Drainagewasser. Dieses kommt dadurch zustande, daß das Grundwasser von mehr oder minder großen geneigten Gebieten nach den tiefer gelegenen,

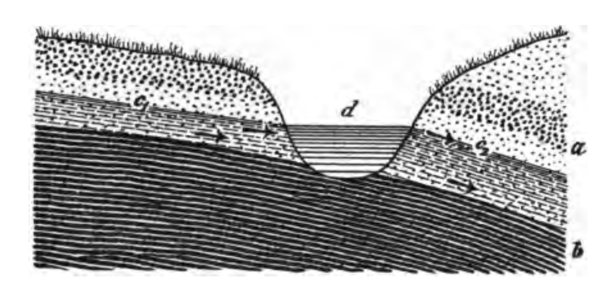


Fig. 8. Verschiedene Gestaltung der Grundwasserverhältnisse auf den beiden Ufern eines Flusses oder Sees.

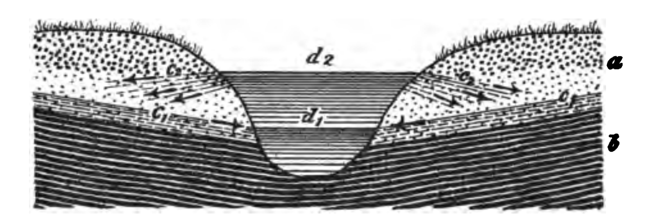


Fig. 9. Durch die Niveauverhältnisse des Flusses beeinflufstes Grundwasser. d_1 tiefer, d_2 hoher Wasserstand des Flusses, c_1 tiefes Grundwasser, c_2 hochstehendes Sickerwasser.

insbesondere den becken- oder muldenförmigen Stellen des Gebietes abfließt, hier sich ansammelt und die Poren des Bodens als Grundwasser anfüllt (Fig. 10).

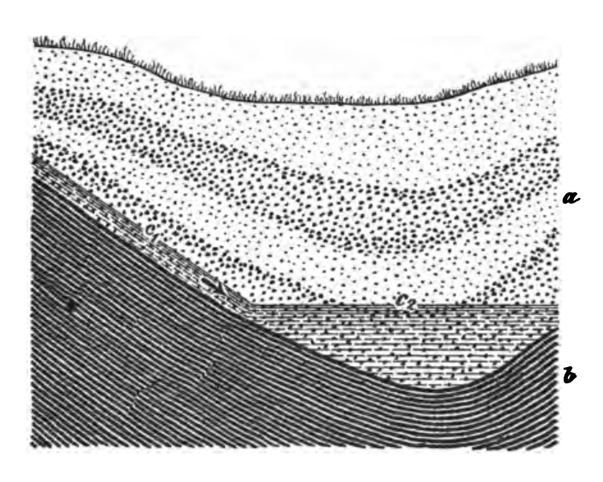


Fig. 10. c_2 = Drainage-Grundwasser.

Je nach dem Ursprung ist auch der hygienische Charakter des Grundwassers ein verschiedener, was wir weiter unten bei der bodenbefeuchtenden Wirkung des Grundwassers würdigen wollen.

Aus diesen verschiedenen Ursprungsquellen der Grundwasserbildung und aus dem oft plötzlichen und unerwarteten Wechsel der Bodenschichtung läßt sich aber auch erklären, warum die Grundwasserverhältnisse oft selbst auf relativ beschränkten Gebieten überaus verschieden sind. Die größten Unterschiede finden sich auf gebirgigem oder welligem Terrain, während die gleichmäßigere Terrainformation von Ebenen ruhigere und einheitlichere Grundwasserverhältnisse aufweist.

Sehr interessant und lehrreich ist in dieser Beziehung das Grundwasser in Budapest[19]. Die links der Donau gelegenen östlichen Stadtteile bilden eine große, gegen die Donau schwach geneigte Ebene (Fig. 11). Die Oberfläche ist mit Mittelsand bedeckt, unter welchem Lehm- und Sand- resp. Kiesschichten von verschiedener Stärke folgen (*b*), die auf einer mächtigen Tegelschicht (*a*) aufliegen, aus deren auf 970,5 m erbohrten Tiefe eine 73,92 ° C. warme, also aus noch größerer Tiefe stammende artesische Quelle aufsteigt.

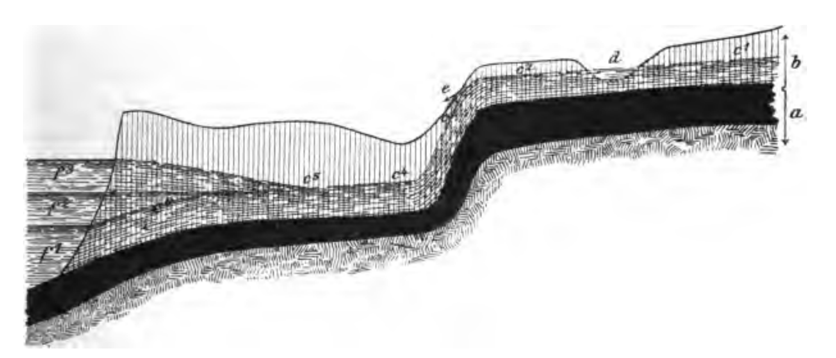


Fig. 11. Schematische Darstellung der Grundwasserverhältnisse in Budapest. (Südöstliche Stadtteile.)

Das Grundwasser kommt an der Ostgrenze des Stadtgebietes von den entfernteren erhöhten Gegenden von Osten her an und sinkt unter das bebaute Gebiet (c_1—c_4); es ist also überwiegend Drainagewasser. Hier an der Ostgrenze wird das Grundwasser ganz nahe zur Bodenoberfläche, stellenweise schon in 1—2 m Tiefe gefunden, und an manchen Stellen, wo man die oberflächliche Sandschicht entfernt hat, liegt es zu Tage und bildet mehr oder minder große Seen (*d*) oder Pfützen, an anderen, von der oberflächlichen Bodenschicht mehr entblößten Stellen tritt das Grundwasser zuweilen (bei hohem Stand) (*e*) als Quelle zu Tage. Gegen Westen fortschreitend wird der Abstand von der Bodenoberfläche zum Grundwasserspiegel immer größer, da die undurchlässige Bodenschicht gegen Westen steiler abfällt als die Oberfläche. An manchen Stellen erfolgt diese tiefere Senkung des Grundwassers sprungweise, zum Beweis, daß die undurchlässige Tegelschicht treppenartig gegen die Donau abfällt.

Die gegenüber, am rechten Donauufer gelegenen Stadtteile haben eine gebirgige, hügelige Lage. Im Westen werden sie von 5—600 m

hohen, aus Kalkstein, Mergellehm, Sandstein etc. bestehenden Bergen begrenzt, die zumeist des Wassers entbehren, weil der Regen rasch abläuft, und auch was eindringt, infolge starker Neigung der Schichten, meist verschwindet. Selten sieht man an den Abhängen kleinere Quellen entspringen; an anderen Stellen sammelt sich Wasser in kleineren unterirdischen Becken an, und geben die hier abgetäuften Brunnen in sehr verschiedenen Tiefen geringe Wassermengen.

Näher zur Donau — von dieser durch den Kalktuffrücken des Festungsberges getrennt — erstreckt sich ein Thal mit lehmig-sandigem Boden und mit wenig Grundwasser in ungleichen Tiefen. Der mit der Donau parallel verlaufende Festungsberg mit seinen zerklüfteten Kalktufffelsen ist auch wasserarm, doch wird in den am Fuß des Berges gelegenen Häusern wieder Grundwasser angetroffen, welches aber zu gutem Teil aus dem Festungsboden durch die Klüfte herabgesickert sein mag; das wird dadurch bewiesen, daß es ziemlich oft von den Abtrittstoffen der Festung, welche in den Abortgruben der Festungshäuser ebenfalls verschwinden, in hohem Grade verunreinigt gefunden wird. Diese Brunnen wurden schon während der ersten Epidemie verdächtigt, die Cholera zu erzeugen. Endlich in den Stadtteilen, welche die Donauufer bilden, pflegt das Flußwasser bei hohem Stand auf beträchtliche Strecken in den Uferboden vorzudringen; hier besteht also das Grundwasser zur genannten Zeit aus Flußwasser.

Die ebenso interessanten Grundwasserverhältnisse anderer Großstädte Europas sind bei Karrer und Soyka, insbesondere aber in Daubrée's monumentalem Werke eingehend geschildert[20]. (Vergl. auch weiter oben, S. 50 ff.)

Wir können nun zu den einzelnen Momenten der Grundwasserverhältnisse übergehen, welche für die Hygiene von vorwiegender Bedeutung sind.

b) Lagerung des Grundwassers. Oberflächliche und tiefe Grundwässer.

Von großer Wichtigkeit ist der Tiefstand des Grundwassers, d. h. der Abstand des Grundwasserspiegels von der Bodenoberfläche.

Der Grundwasserspiegel wird in der Höhe angenommen, wo die Hohlräume zwischen den Erdpartikeln von Wasser ganz erfüllt sind. Wohl ist die Erde auch über diesem Niveau feucht, weil das Grundwasser durch Kapillarität im Boden aufsteigt; hier sind aber die Hohlräume zwischen den Erdeteilchen nicht alle erfüllt, sondern neben dem Wasser befindet sich auch Luft im Boden.

Wenn man in den Boden eingräbt, so sieht man, wie die Erde mit zunehmender Tiefe zwar immer feuchter wird, daß sich aber am Boden der Grube Wasser nicht ansammelt; bis hierher giebt es also noch kein Grundwasser, sondern bloß Bodenfeuchtigkeit. Beim weiteren Eindringen wird auf einmal der Boden der Grube von stehendem Wasser bedeckt sein; hier befindet sich der Grundwasserspiegel, auf diesem Niveau steht er im umliegenden Boden und erfüllt die Poren des Erdreichs vollständig. Dies kann durch folgenden Vorlesungsversuch am besten demonstriert werden:

Man bringt in ein hohes cylinderförmiges Glasgefäß von 20 bis 25 cm Durchmesser, welches unten mit einem Hahn versehen ist, grobkörnigen Sand und läßt von unten bis zur halben Höhe der Sandschicht Wasser

aufsteigen. Jetzt steckt man eine Blechrinne von 8 bis 10 cm Radius am Rand in den Sandboden, so daß die beiden Ränder die Glaswand berühren und die Konvexität gegen das Innere des Gefäßes gerichtet ist. In dem Maße, als die Rinne eindringt, muß man den zwischen Rinne und Glaswand befindlichen Sand auslöffeln; sobald man aber den Wasserspiegel im Sand erreicht hat, wird an Stelle des herausgehobenen Sandes Wasser in der Rinne sich zeigen, dessen Niveau — wie dies besonders dann, wenn der Versuch mit gefärbtem Wasser angestellt wurde, recht deutlich zu sehen ist — ganz in derselben Höhe steht, wie im Sandboden*).

Der Spiegel des Grundwassers steht also an der Stelle, wo die Oberfläche des auf der undurchlässigen Schicht auflagernden Wassers sich befindet. Je nach den unregelmäßigen Veränderungen der Schichten, welche das Grundwasser aufhalten, wird auch diese Tiefe sehr verschieden sein, sodaß der Wasserspiegel — wie bereits angedeutet — bald in unerreichbarer Tiefe steht, bald wieder bis an die Oberfläche heraufreicht.

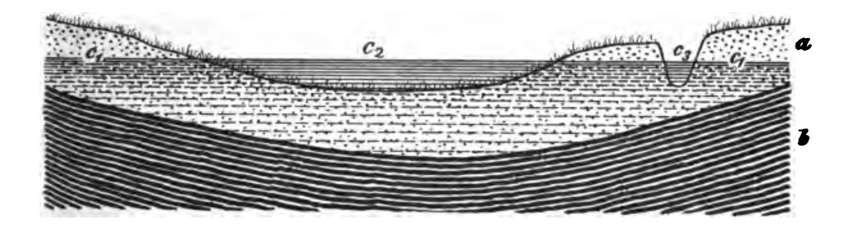


Fig. 12. Oberflächliches und frei zu Tage tretendes Grundwasser.

Im allgemeinen spricht man von tiefem Grundwasserstand, wenn der Grundwasserspiegel mehr als 20 m, und von oberflächlichem, wenn derselbe weniger als 5 bis 6 m von der Bodenoberfläche sich befindet. Oberflächliches Grundwasser wird oft an der Bodenoberfläche zu Tage treten (c_2, Fig. 12), z. B. wenn sich über der undurchlässigen Schicht mehr Wasser ansammelt, als in der oberen durchlässigen Bodenschicht Platz findet, oder wenn bei seichtem Grundwasserstand im oberflächlichen Boden Gruben vorhanden sind, deren Grund vom Grundwasser bereits erreicht und ausgefüllt ist (c_3). Die an vielen Stellen in Bodenvertiefungen, Hainen, Straßengräben, Ziegelschlagsgruben, Hanfröstegruben stagnierenden Tagwässer sind in der Regel Grundwasser, seltener durch impermeablen Boden auf der Oberfläche zurückgehaltenes Regenwasser. Ihre Natur als Grundwasser verrät sich durch die Beständigkeit, da sie mit dem Grundwasser des umliegenden Terrains eine Masse bilden und schwer verdunsten, weil der Verlust fortwährend aus der Umgebung ersetzt wird; stagnierendes Regenwasser pflegt hingegen rascher zu verdunsten, weil es keinen Ersatz findet. Noch sicherer können solche Ansammlungen für Grundwasser gehalten werden, wenn das Niveau mit dem Wasserspiegel naher Brunnen übereinstimmt. Solche zu Tage liegende Grundwässer werden verschwinden, wenn man die Vertiefung

*) Ein solches Gefäfs kann auch zu Versuchen über die Schwankungen des Grundwasserspiegels etc. benutzt werden.

auch nur bis zur Höhe des Wasserspiegels, also bis zum Niveau des Grundwassers anschüttet.

Zuweilen findet man den Grundwasserspiegel selbst auf geringe Entfernungen in verschiedenen Tiefen; dies kommt entweder daher, daß die Bodenschicht über dem Grundwasser wellig ist, also die Oberfläche an verschiedenen Punkten verschieden hoch über dem Grundwasserspiegel liegt oder, in selteneren Fällen, daher, daß die unter einer ebenen Oberfläche gelegene impermeable Schicht stark geneigt, treppen- oder beckenförmig ist. Einen solchen Fall habe ich oben (S. c_1—c_5, Fig. 11) bei den Grundwasserverhältnissen von Budapest beschrieben.

Der Abstand des Grundwasserspiegels von der Bodenoberfläche ist in verschiedenen Richtungen von hygienischer Bedeutung. Von diesem Abstand wird es zunächst abhängen, ob das Grundwasser und die aus demselben durch Kapillarität aufwärts geförderte (in früheren Abschnitten besprochene) Feuchtigkeit bis zu den Fundamenten und der Sohle von Gebäuden aufsteigen, also ob das Grundwasser Gebäude feucht machen, Keller überfluten kann.

Es giebt aber Bodenarten, in denen auch ein nicht gerade oberflächliches Grundwasser Feuchtigkeit in den Gebäuden zu erzeugen imstande ist. Wie oben erwähnt, vermag die Feuchtigkeit in einem Torfboden bis auf 6 m vom Wasserspiegel aufzusteigen.

Es wird daher bei der Entscheidung der Frage, ob das Grundwasser vermöge seines Standes Feuchtigkeit in den Gebäuden verursachen kann, stets auch die Kapillarität des Bodens, sowie die Tiefe in Betracht zu ziehen sein, bis zu welcher die Grundmauern in den Boden eindringen.

Vom Tiefstand des Grundwassers wird es ferner abhängen, ob dasselbe die oberflächlichste, gewöhnlich am meisten verunreinigte Bodenschicht zu befeuchten vermag, ob es also auf die im verunreinigten Boden verlaufenden Zersetzungsprozesse von Einfluß ist.

Endlich hängt es vom Tiefstand ab, ob das Grundwasser durch Brunnen leicht zu erreichen ist und ob diese gutes Wasser liefern. Aus einem oberflächlichen Grundwasser wird man in der Regel kein gutes Trinkwasser erhalten, weil solches Wasser stets stark verunreinigt, ferner im Winter zu kalt, im Sommer zu warm und faulig ist.

An manchen Orten wird Grundwasser in mehreren Schichten übereinander angetroffen, wie z. B. in den nordöstlichen Teilen von Budapest. Das kommt daher, daß die der Oberfläche zunächst gelegene impermeable Schicht nicht die gehörige Mächtigkeit und Undurchlässigkeit besitzt, sodaß das Wasser durchsickert und bis auf die tiefer befindlichen, wirklich undurchlässigen Schichten gelangt (Untergrundwasser Virchow's) (Fig. 13). In anderen Fällen ist dieses zweite tiefere Grundwasser anderen Ursprungs, es sammelt sich von entlegeneren Gegenden, z. B. aus Flußbetten, entfernten Drainagewässern, an der bezeichneten Stelle an. Bei so bestellten Boden- und Grundwasserverhältnissen kann die Vertiefung der Brunnen sehr nützlich sein*).

*) In Fürstenfeld (Oesterreich) (Fig. 14) sind sieben übereinander lagernde Grundwasserschichten bekannt. Dieselben liegen in zwischen Tegel eingebetteten Sandschichten. (Stur. C. citiert von Daubrée, Les eaux sousterraines 1. Bd. 86, Paris 1887). Doppeltgeschichtetes Grundwasser in Wien beschreibt Suess. (Der Boden der Stadt. Wien, S. 236). Siehe Fig. 13 u. 15.

Wenn im Boden mehrere impermeable und dazwischen durchlässige Schichten **muldenförmig** übereinander gelagert sind, und wenn jetzt zwischen diese impermeablen Schichten Wasser (aus Flüssen durchgesickertes oder Drainagewasser etc.) hineingelangt, so wird das zwischen zwei impermeable Schichten eingeschlossene Wasser unter einem Drucke stehen, dessen Größe von der Höhe abhängt, bis zu welcher das Wasser

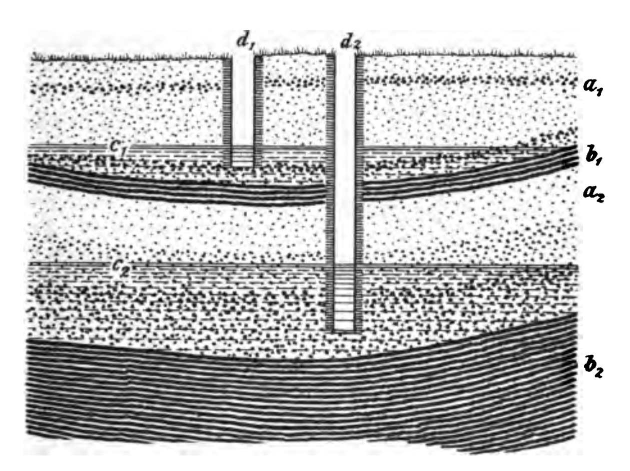


Fig. 13. Mehrfaches (doppelt) geschichtetes Grundwasser. *a—a* durchlässige, *bb* undurchlässige Schichten, c_1—c_1 oberflächliches, c_2—c_2 tiefes Grundwasser, d_1—d_2 höheres resp. tieferes Grundwasser erschliefsende Brunnen.

zwischen den muldenförmigen Wänden sich erhebt. Wenn man ein solches zwischen Beckenwänden eingezwängtes Grundwasser vermittelst Brunnen anbohrt, so wird es im Brunnen bis auf ein der Seitenhöhe entsprechendes Niveau ansteigen. So kommen in der Regel **artesische Brunnen** zustande.

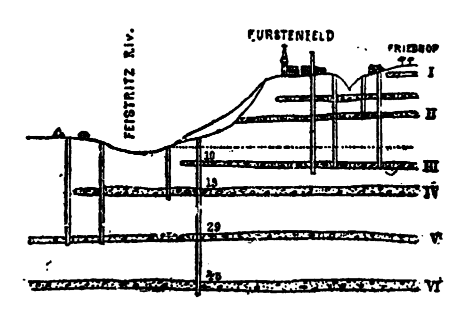


Fig. 14. Grundwasserverhältnisse in Fürstenfeld. (Nach Daubrée.)

Unter dem ungarischen Tiefland (**Alföld**) erstreckt sich solches zwischen muldenförmige Schichten eingeschlossenes tiefes Grundwasser, welches einerseits von Westen aus dem Gebirge jenseits der Donau und vielleicht aus der Donau selbst, von Osten her aber durch die Drainagewässer des reichliche Niederschläge aufnehmenden Bihargebirges

gespeist wird. Die großen und volkreichen Städte Niederungarns haben dieses in Mulden eingeschlossene Grundwasser der Reihe nach angebohrt und sich mit auf diesem Wege gewonnenem artesischem Wasser versorgt (Fig. 16).

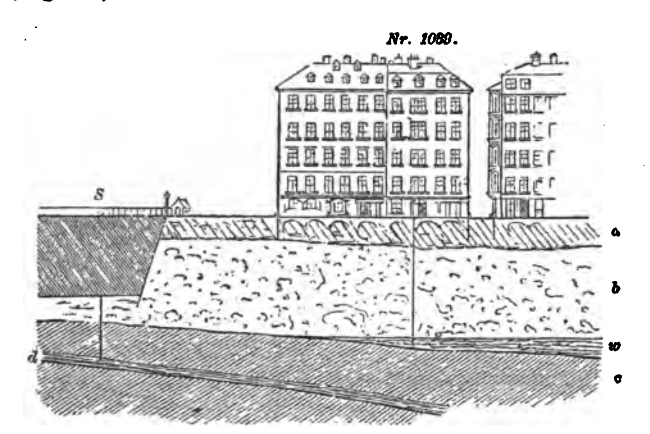


Fig. 15. Doppelgeschichtetes Grundwasser in Wien. (Nach Suess.)

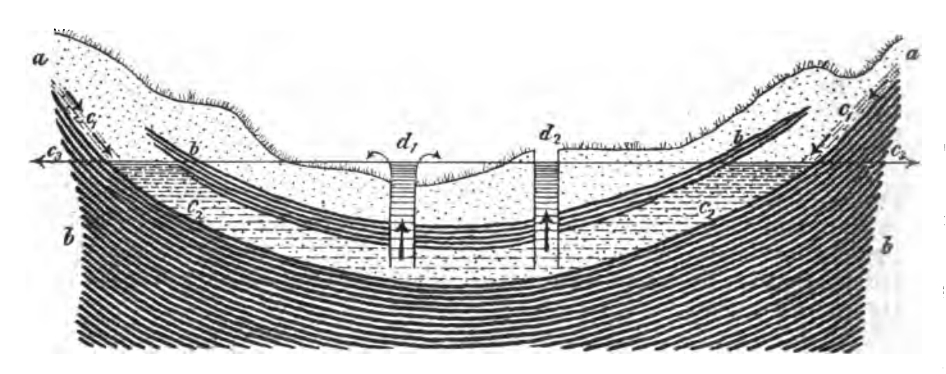


Fig. 16. Zu artesischen Brunnen geeignete Lagerung tiefer Grundwässer im ungarischen Tiefland (Alföld). *a* durchlässige Schicht, *b*—*b* muldenförmige, übereinander gelagerte undurchlässige Schichten, c_1—c_1 versinkende Grundwasser, c_2—c_2 zwischen undurchlässige Schichten eingeschlossenes Grundwasser, c_3 dessen Niveau, d_1 artesischer Brunnen mit überlaufenden Wasser, d_2 Brunnen, wo das aufsteigende Wasser die Brunnenöffnung nicht erreicht und durch Pumpen gehoben werden mufs.

c) Wasserreichtum des Grundwassers.

Je größer das Gebiet und je mächtiger auf diesem die Bodenschicht, welche das Grundwasser erfüllt, um so größer sein Wasserreichtum. Dieser ist von verschiedenen Faktoren abhängig, — neben den Regenfällen zunächst davon, ob die impermeable Schicht eine stark geneigte Oberfläche hat, auf welcher das Grundwasser rasch abläuft; ferner davon, ob jene Schicht hinlänglich impermeabel ist oder im Gegenteil ein langsames Durchsickern des Wassers in tiefere Schichten und sein Verschwinden zuläßt.

Besonders groß ist der Wasserreichtum, wo von ausgedehnten Gebieten zusammengelaufenes Drainagewasser sich in weitläufigen Becken

ansammelt, also in den mittleren Partien großer Thalgebiete, und noch mehr am Ausgang großer Thalkessel, wo das Wasser ein weites Hinterland hat. Auch die Ufergebiete von Flüssen sind wasserreich, wenn das Flußwasser durch das Erdreich der Ufer in den Nachbarboden aussickert. Auf diese Weise kommen Flüssen entlang häufig unterirdische Seen oder Wasserbehälter von riesiger Ausdehnung zustande. Suess hat diese Verhältnisse sehr schön und klar beschrieb[21]. „Nur in seltenen Ausnahmefällen gräbt sich ein Fluß sein Bett der ganzen Länge nach in wasserdichten Boden. Bei weitem die Mehrzahl der Flüsse ist aber wenigstens durch einen großen Teil ihres Laufs begleitet von einem bald breiteren, bald schmäleren Streifen von losen Aufschüttungen, den sogen. Alluvionen des Flusses. Dann ist aber Wasser nicht nur in der sichtbaren Flußrinne, sondern auch in den Alluvien und den dieselben begrenzenden Schichten enthalten, und zwar ist der Boden zu beiden Seiten des Flusses bis zu einem Niveau mit Wasser angefüllt, das in gewisser Beziehung zum Wasserstande im Flusse selbst steht."

Und hieraus ist zu verstehen, daß unter ähnlichen Verhältnissen bei Hochwasser riesige Wassermassen in die Uferbehälter eindringen, von wo sie später, wenn der Fluß wieder fällt, in den Fluß zurückkehren und diesen speisen werden. Ohne diese Wasserbehälter würden die Flüsse bei Tau- und Regenwetter noch mehr anschwellen, als das thatsächlich der Fall ist, in der trockenen Jahreszeit hingegen alsobald bis zur Trockne abfallen, wenn die genannten Behälter ihnen kein Wasser zuführten.

Der Reichtum des Grundwassers ist besonders mit Rücksicht auf die Wasserversorgung größerer Gemeinden von Wichtigkeit, — der Zusammenhang der Grundwässer auf größeren Gebieten ist es aber insofern, als er bei der an einer Stelle erfolgten Verunreinigung des Grundwassers zur Fortpflanzung dieser auf andere Häuser und Brunnen, ja sogar auf andere Gemeinden führen kann.

Beurteilt kann der Wasserreichtum aus der Größe des durchtränkten Gebietes und der Mächtigkeit der wasserführenden Bodenschicht werden. Ein mit Grundwasser erfüllter Boden enthält — wie oben nachgewiesen — rund 30 Proz. seines Volumens Wasser. Es muß aber gleich hier, wenn auch nur kurz, erwähnt werden (eingehendere Erörterungen gehören in die Wasserhygiene), daß, obschon lehmiger oder humöser Boden im gleichen Volumen mehr Grundwasser enthalten kann, als z. B. ein Sand- oder Kiesboden, man aus letzteren nicht nur rascher, sondern auch mehr Wasser erhält, weil Lehm und Humus vermöge ihrer größeren wasserbindenden Kraft (s. oben) von dem enthaltenen Wasser nur wenig, Kies und Sand aber den größten Teil an die Brunnen abgeben.

d) Die Bewegungen des Grundwassers.

Nach Pettenkofer werden zweierlei Bewegungen des Grundwassers beobachtet: die Strömung oder horizontale Bewegung, dann die Schwankungen oder vertikalen Bewegungen.

α) Strömung des Grundwassers.

Das Grundwasser wird den hydrostatischen Gesetzen entsprechend der Neigung der undurchlässigen Schicht, auf welcher es sich angesammelt

hat und aufliegt, folgen; die Richtung des Grundwasserstromes wird also stets auf dieser schiefen Ebene den tiefer gelegenen Stellen zustreben.

Beim Grundwasser ist diese Strömung Regel, und nur ausnahmsweise, wenn es sich in muldenförmigen Schichten angesammelt hat und nicht bis an die Ränder der Mulde hinaufreicht, wird es ohne Strömungen ruhig im Boden verharren. Auf die Stromrichtung kann aus den Niveauverhältnissen des Grundwasserspiegels auf dem betreffenden Gebiete gefolgert werden; in der Richtung, nach welcher der Wasserspiegel abfällt, wird auch das Grundwasser abfließen. Diese Richtung ist gewöhnlich Thälern, Flüssen oder Seen zugekehrt.

Die Geschwindigkeit des Grundwasserstromes ist hauptsächlich von zwei Faktoren abhängig: vom Neigungswinkel der impermeablen Schicht und von der Wasserdurchlässigkeit des Bodens. Da diese zwei Faktoren nach Ort und Zeit überaus variabel sind, wird auch die Strömung nach Ort und Zeit sehr verschieden sein.

Die Gesetze der Strömungsgeschwindigkeit sind im ganzen genommen noch wenig studiert und selbst empirisch noch kaum bestimmt. Darcy[22] hat das Gesetz mit folgender Formel ausgedrückt:

$$V = k\frac{h}{l},$$

in welcher V die Strömungsgeschwindigkeit, h die Druckhöhe, l den zurückgelegten Weg und k einen vom Material abhängigen Koeffizienten bezeichnet. Doch ist gerade dieser Koeffizient noch nicht durch empirische Beobachtungen mit hinlänglicher Genauigkeit festgestellt.

Eine einfache Methode zur Feststellung der Strömungsgeschwindigkeit besteht darin, daß man an einer Stelle des untersuchten Gebietes chemisch leicht nachweisbare Stoffe (Kochsalz, Eisensalze, Ferrocyankali) in das Grundwasser (Brunnen) bringt und auf verschiedenen Entfernungen in der Neigungsrichtung des Wasserspiegels in bestimmten kürzeren Zeiträumen entnommenes Wasser untersucht. Von ähnlichen Untersuchungen sind mir bloß die Thiem'schen[23] bekannt, welche beweisen, daß die Wasserströmung bei bedeutenden Niveauunterschieden in einem gut permeablen Boden sehr schnell sein kann. Durch Pumpen wurde in einem Brunnen der Wasserspiegel um 3 m unter das Niveau des umliegenden Grundwassers gesenkt, und geprüft, wie rasch das Grundwasser bei dieser bedeutenden Druckdifferenz von den in verschiedenen Entfernungen umliegenden Brunnen nach der Depressionsstelle vordringt. 5 m weit vom Brunnen, also auf dem Gebiet der größten Depression, erreichte die Stromgeschwindigkeit in 24 Stunden bis 2073,6 m und wurde mit zunehmender Entfernung geringer, weil auch die Niveauunterschiede abnahmen.

Unter natürlichen Bedingungen werden wohl solche Geschwindigkeiten äußerst selten vorkommen. An Flußufern wurden die Untersuchungen derart angestellt, daß man beobachtete, wie lange Zeit vergeht, bis die im Fluß eintretende Niveausteigerung im tiefer stehenden Grundwasser des Uferbodens auf verschiedenen Entfernungen bemerkbar wird. In Budapest hat Fodor in Mittelsand, im Durchschnitt aus zahlreichen Beobachtungen, in 24 Stunden 15,9—35 Klafter, und im Mittel 28 Klafter (53 m) Geschwindigkeit erhalten[24]. Am Elbeufer wurden bloß 7—8 Fuß Geschwindigkeit pro 24 Stunden gemessen[25]. Hess fand am Ufer des Aller-Flusses 10—35 m Geschwindigkeit in 24 Stunden (Soyka). Alles in allem bleibt daher der in 24 Stunden zurückgelegte

Weg meistens unter 50 m, und ist die Strömung häufig genug (in ebenem, kompakterem Boden) so gering, daß man füglich von Stagnation sprechen kann.

Es ist in mehreren Beziehungen wichtig, ob das Grundwasser langsamer oder rascher strömt. Gerade so wie im Tagwasser das fließende Wasser ein ganz anderes hygienisches Verhalten zeigt als ein stagnierendes: so wird auch das im Boden befindliche Wasser — besonders wenn es nicht tief unter der Oberfläche liegt — sich (z. B. im Sommer oder Herbst) ganz verschieden verhalten, je nachdem es in lebhafter oder träger Bewegung begriffen ist oder gar stagniert. Diesbezüglich mangelt es aber an konkreten Beobachtungen.

Ein Boden, welcher infolge seines kompakten Gefüges auf die Grundwasserströmungen hemmend wirkt, wird aus dem nämlichen physikalischen Grund auch den Wasserertrag der Brunnen vermindern.

β) *Die Schwankungen des Grundwassers.*

Die vertikalen Bewegungen oder Schwankungen des Grundwassers genießen in der Hygiene besondere Beachtung, seitdem Pettenkofer in denselben ein Maß und einen Indikator für die periodische Durchfeuchtung der oberflächlichen Bodenschichten erblickt, und seitdem er mit Buhl gefunden hat, daß in München diese Schwankungen mit dem zeitlichen Verlauf der Typhusepidemien parallel einhergehen.

Unter Grundwasserschwankung versteht man den Vorgang, daß der Grundwasserspiegel zu gewissen Zeiten ansteigt und der Bodenoberfläche näher kommt, dann von der letzteren sich wieder entfernt und abfällt. Die Differenz schwischen dem höchsten und niedrigsten Stand giebt die Größe oder Amplitude der Schwankung.

Beobachtet man den Grundwasserspiegel Tag für Tag, so wird man seine Annäherung und Entfernung von der Bodenoberfläche kaum erkennen, da die Tagesamplitude der Schwankungen in der Regel sehr gering ist. Wenn man aber die Beobachtung eine längere Zeit hindurch fortsetzt, so wird die Schwankung mit Sicherheit nachweisbar und läßt auch eine gewisse Gesetzmäßigkeit erkennen.

In unserem Klima wird man in der Regel finden, daß das Grundwasser gegen Frühjahr zu steigen beginnt und allmählich, von Schwankungen und Rückfällen unterbrochen, den höchsten Stand erreicht, worauf es zu sinken anfängt und im Herbst oder Winter auf den tiefsten Stand heruntergeht. Doch fallen diese höchsten und tiefsten Stände nicht in allen Jahren und an allen Orten auf denselben Zeitpunkt.

Den Höhenunterschied zwischen diesem höchsten und tiefsten Stand in einem Jahre kann man die Jahresamplitude der Schwankung nennen. Sie ist zunächst nach Orten verschieden. So sind bei Pettenkofer Orte aus Indien angeführt, wo der höchste und tiefste Grundwasserstand im Jahre um 12—13 m differiert. Gewöhnlich bewegen sich aber die Schwankungen innerhalb viel engerer Grenzen. Die österreichischen und ungarischen Militärbehörden lassen schon seit Jahren an vielen (in Oesterreich an 26, in Ungarn an 16 und in Bosnien an 3) Orten Grundwasserbeobachtungen ausführen. Aus den Veröffentlichungen der genannten Behörden[26] ist zu entnehmen, daß die Jahresamplitude z. B. in Lemberg 4 m, in Ottocac selbst 5 m überstieg und unter

den 45 Beobachtungsstationen am größten war, während z. B. im östlichen Stadtteil von Budapest, wo das Grundwasser durch den Stand der Donau nicht beeinflußt wird, die Jahresschwankung kaum $^1/_3$ bis $^1/_2$ m ausmacht. So zeigte z. B. der eine Brunnen (No. XX)[27] den folgenden Stand über dem Nullpunkt der Donau:

	Maximum	Minimum	Jahresamplitude
1877	275 cm	255 cm	20 cm
1878	277 „	248 „	29 „
1879	318 „	277 „	41 „
1880	328 „	300 „	28 „

In München beträgt die Jahresamplitude annähernd 2 m (Soyka).

Beachtenswert ist die Erfahrung, daß der Grundwasserspiegel während eines längeren, auf mehrere Jahre sich erstreckenden Zeitraumes einige Jahre lang im ganzen ansteigt und während der nächsten Jahre wieder abfällt. Diesbezüglich sind neben den obigen auch die folgenden in Budapest gewonnenen Zahlen interessant. Im Brunnen der Karls-Kaserne betrug der mittlere Wasserstand (Mittel aus Maximum und Minimum) über dem Nullpunkt der Donau:

1876	263 cm	1881	263 cm
1877	203 „	1882	203 „
1878	212 „	1883	242 „
1879	242 „	1884	208 „
1880	257 „	1885	179 „

wo die steigende Tendenz von 1877—1881 und dann eine successive Abnahme augenfällig ist.

Auch in München war der Grundwasserstand von 1868 bis 1870 um 70 cm gestiegen, während in der Umgebung von München die Jahresmittel um 4 und mehr Meter differierten (Soyka).

Diese auf mehrere Jahre sich erstreckenden Grundwasserschwankungen könnte man die Amplitude der Jahrescyklen nennen, welche sowohl in epidemiologischer als vielleicht noch mehr in bauhygienischer Beziehung von großer Wichtigkeit sind. So hat der Grundwasserstand von 1880—1881 in Budapest große Störungen verursacht. Das Wasser drang im Friedhofe in die Grüfte ein und hob die Särge in die Höhe; im städtischen neuen Krankenhaus hat es die im Boden in Kanälen verlegten Rohre der Dampfheizung abgekühlt. Es wurden in der Eile einige Drainagearbeiten ausgeführt, was von guter Wirkung schien; doch mag der Erfolg eher darauf zurückzuführen sein, daß das Grundwasser bald darnach im allgemeinen bedeutend abfiel. Es bleibt also fraglich, ob nicht ein neueres Ansteigen des Grundwassers zur Wiederholung der Kalamitäten von 1881 führen wird.

Die Bauhygiene muß also diese Schwankungen des Grundwassers berücksichtigen.

Auf Grund der vorliegenden Beobachtungen kann gesagt werden, daß die Amplitude der Grundwasserschwankungen — namentlich der jährlichen und nicht der cyklischen Schwankungen, welche erst an wenig Orten bekannt sind — auf ebenen Gebieten von großer Ausdehnung sehr gering ist, meist unter $^1/_2$ m beträgt, hingegen unter in Thälern oder in Kesseln gelegenen Stellen und längs der Flüsse mit beträchtlich schwankendem Wasserstand viel bedeutender ist. Dieses Verhalten wird sofort erklärlich, wenn man die Ursachen der Grundwasserschwankungen untersucht.

e) Ursachen der Grundwasserschwankungen.

Das Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels wird durch verschiedene Ursachen hervorgerufen. Um zunächst von den letzteren zu sprechen, wo die Verhältnisse einfacher liegen, ergeben sich für ein Sinken des Grundwasserspiegels folgende Ursachen: das Grundwasser strömt auf der schiefen Ebene weiter, es fließt ab, — es sinkt durch die gewöhnlich nicht ganz impermeablen Bodenschichten in die Tiefe, es steigt durch Kapillarität in die austrocknenden oberen Bodenschichten, wo es verdunstet, — es wird durch Brunnen ausgeschöpft u. s. f.

Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass diese Faktoren einzeln und gemeinsam, je nach der Lokalität, in verschiedenem Maße zur Geltung kommen und daß infolgedessen Maß und Geschwindigkeit der Abnahme des Grundwassers verschieden sein werden. In einem grobkörnigen Kiesboden mit starker Neigung wird das Grundwasser rasch abfallen, weil es rasch abfließt, bei entgegengesetzten Bedingungen aber in langsamerem Tempo abnehmen.

Noch komplizierter aber sind die Faktoren, welche das Ansteigen des Grundwassers zuwege bringen. Hierher gehören: Regenfälle, die Einwirkung von Flüssen und die Drainageverhältnisse.

Wenn Regenfälle mehr Wasser liefern, als abfließt und durch die wasserbindenden, über dem Grundwasserspiegel gelegenen Bodenschichten zurückgehalten werden kann, so wird der Ueberschuß, wenn er nicht durch Verdunstung sich verringert, bis zum Grundwasser hinuntersickern und ein Steigen des Grundwasserspiegels verursachen. Das ist die regelmäßige und häufigste Ursache, welche das Steigen des Grundwassers hervorruft.

Es läßt sich aber leicht begreifen, daß der Grundwasserspiegel bei den Regenmengen unserer Zonen nicht irgendwie beträchtlicher steigen wird, und insbesondere nicht infolge der Sommerregen, deren Wasser, wie gezeigt wurde, durch die oberflächlichen und trockenen Bodenschichten größtenteils gebunden wird und von hier wieder verdunstet. Wo die jährliche Regenmenge, wie im größten Teil von Centraleuropa, nur 500 bis 1000 mm beträgt, und selbst von dieser kaum $^1/_3$ durch den Boden aufgenommen wird (der Rest fließt oberflächlich ab, verdunstet, wird gebunden u. s. f.), werden während des ganzen Jahres kaum 170 bis 330 mm Regenwasser bis zum Grundwasser gelangen und hier, wenn man die Wasserkapazität des Bodens zu 30 Vol. Proz. annimmt, in einer Bodenschicht von 550—1050 mm Platz finden.

Nun ist aber bekannt, daß nicht die ganze Regenmenge auf einmal niederfällt. Da sich die Regenmenge vielmehr auf längere Zeiträume verteilt, kann auf einmal nur ein gewisser Anteil einer Regenperiode eine teilweise Steigerung des Grundwassers verursachen. Nun folgt ein regenloser Zeitabschnitt mit sinkendem Grundwasser, dann fällt wieder eine Portion Regen, der den Grundwasserspiegel vielleicht um ein Geringes erhöht. Mit anderen Worten: das Steigen und Fallen verteilt sich auf kleinere Portionen, vermöge welcher die Differenz zwischen höchstem und tiefstem Stande oder die Jahresamplitude nicht einmal die erwähnten $^1/_2$—1 m erreichen kann, sondern thatsächlich unterhalb $^1/_2$ m verbleibt.

Wo also die Jahresamplitude der Grundwasserschwankungen in Millimetern größer ist, als etwa die halbe Regenhöhe in Millimetern ausgedrückt, da müssen

die Schwankungen des Grundwassers neben den Niederschlägen noch von anderen Faktoren beeinflußt sein. Im umgekehrten Sinne ist dieser Lehrsatz nicht gültig, was sich wohl von selbst versteht.

Viel bedeutender sind die durch Flüsse verursachten Schwankungen des Grundwasserspiegels, wo jene in den austrocknenden Boden eindringen. Durch diesen Vorgang kann der Grundwasserspiegel bis zum Flußniveau gehoben werden. Einem Sinken des Flusses wird natürlich auch das Grundwasser folgen. Jetzt verstehen wir, warum neben Flüssen, deren Wasserstand bei Hochwasser um mehrere Meter zunimmt, auch das Grundwasser im Uferboden die gleiche Steigerung erfahren und mit sinkendem Flußwasser wieder um ebensoviel abfallen kann. So wurde z. B. in Ottocac, wo das Grundwasser (nach meinen Informationen) durch ein nahes Flüßchen beeinflußt wird, im Oktober 1885 ein Ansteigen des Grundwassers um 3,38 m beobachtet. Doch ist es keineswegs Regel, daß das Grundwasser stets ebensoviel steigen oder fallen müsse wie der Fluß. Wenn das Steigen und Fallen des Flußspiegels sehr rasch erfolgt, werden schon in einiger Entfernung vom Flusse die Grundwasserschwankungen geringer sein als im Flusse; und wenn ferner das Niveau der impermeablen Schicht im Uferboden und des auf demselben abfließenden Grundwassers zwar tiefer liegt als der Hochwasserstand, aber höher als der Tiefstand im Flusse, so wird auch das Grundwasser nicht auf das Niveau des minimalen Flußspiegels abfallen.

Ein Faktor, der gleichfalls zur Erhöhung des Grundwasserstandes mächtig beitragen kann, ist die Drainage; er kommt zur Geltung, wenn die Grundwässer eines größeren Areals einem einzigen Orte unterirdisch zugeführt werden. Das ist namentlich an Berglehnen, in Thälern oder auf muldenförmigen Terrains der Fall. Selbstverständlich kann der Grundwasserstand unter diesen Verhältnissen sehr bedeutend erhöht werden. Die Höhe, bis zu welcher dies geschieht, wird davon abhängen, wie groß das wasserliefernde Gebiet, wie reichlich das Wasser selbst ist, wie rasch es anlangt und auf einem wie beschränkten Terrain es zusammengedrängt wird, ob es von hier wieder rasch abfließen kann oder im Gegenteil sich aufstaut u. s. f.

Ist das Thal groß, breit und lang, so kann das Grundwasser an der Thalsohle und noch mehr an der sich häufig verengenden Thalmündung in hohem Maße gestaut werden und hier bedeutende Schwankungen zeigen. Ueberhaupt werden Grundwasserschwankungen in Thälern und an muldenförmigen Orten aus den genannten Ursachen größer sein als in Ebenen und auf Abhängen.

Wo die Grundwasserschwankungen die oben erörterte Jahresamplitude übertreffen und nicht auf die Einwirkung von Flüssen oder Seen zurückgeführt werden können, ist man berechtigt, auf eine Ansammlung von Drainagewässern zu schließen.

f. Zeitliche Verhältnisse der Grundwasserschwankungen.

Regenfälle und Steigen des Grundwassers sind auch dann keineswegs synchronisch, wenn die Schwankungen des Grundwassers großenteils durch die Niederschläge verursacht werden. Und das ist ganz natürlich.

Vor allem bedarf es einer gewissen Zeit, bis das auf die Oberfläche gefallene Wasser in den Boden auf eine gewisse Tiefe eindringt und zum Grundwasser gelangt. Dieser Weg ist in einem durchlässigen Boden und bei oberflächlichem Grundwasser ein kurzer; hier wird also auch das Steigen des Grundwassers rasch auf die Niederschläge folgen. In einem schwer durchlässigen Boden dagegen und bei tiefem Grundwasserstand wird es einer geraumen Zeit bedürfen, bis nach einem Regenfall die Grundwassersteigung sich bemerkbar macht. Im lehmig-sandigen Boden von Klausenburg war das Regenwasser wöchentlich annähernd um einen Meter in die Tiefe, gegen das Grundwasser hinabgesunken[28], während z. B. in Kreideboden das Eindringen des Regenwassers gegen das Grundwasser kaum im Jahre 1 m beträgt (Parkes).

Die zeitliche Kongruenz von Grundwassersteigung und Regenfall ist auch dadurch gestört, daß das Regenwasser in trockenem Boden großenteils gebunden wird, im durchfeuchteten Boden dagegen das dort vorgefundene Wasser deplacieren und in die tieferen Schichten bis zum Grundwasser hinabdrängen muß. Daher kann ein Steigen des Grundwassers einem Frühjahrsregen auf dem Fuße folgen, während es im Sommer oder Herbst erst später oder gar nicht eintritt, wenn nämlich der Boden über dem Grundwasser allzu trocken ist und alles Regenwasser zurückhält.

Weiterhin kann die Kongruenz von Grundwasserschwankungen und Regenfällen dadurch gestört werden, daß neben den Regenfällen auch noch ein Fluß auf den Grundwasserstand einwirkt. Denn das Wasser in Flüssen — namentlich in größeren — steigt nicht plötzlich, sondern erst allmählich, je nach den Regenmengen, welche die einzelnen Flußabschnitte getroffen haben. So würden z. B. für den Stand der Donau in Budapest nicht die hier stattgehabten Niederschläge, sondern die Regenverhältnisse der Sammelgebiete in Bayern und Oesterreich, und für die aus Ober-Ungarn kommenden Nebenflüsse der Donau die Regenverhältnisse der Karpathen maßgebend sein.

Am meisten aber wird der Synchronismus von Grundwasserschwankungen und Niederschlägen durch die Drainageverhältnisse gestört. Die Drainagewässer haben oft einen längeren Weg bis zu gewissen tieferen Gebieten zurückzulegen und werden hier sehr verspätet eintreffen. Dies ist bei der relativ langsamen Strömung der Grundwässer (S. 90) ja auch leicht verständlich.

Aus alledem folgt, daß der höchste Grundwasserstand mit den stärksten Regenfällen zeitlich nicht zusammenzufallen braucht. In Budapest z. B. fällt der höchste Grundwasserstand mit den minimalen Regenmengen zusammen und vice versa (Fodor)[29]. In Berlin wird das Grundwasser von den Drainagewässern des Spreethales beherrscht; dort pflegt (im Mittel von 16 Jahren) das höchste Ansteigen des Grundwassers 9 Monate nach den stärksten Regenfällen zu folgen und der maximale Grundwasserstand mit dem Regenminimum zusammenzutreffen (Soyka). Dagegen verlaufen in München Regen- und Grundwasserkurven ziemlich parallel, und das Grundwasser erreicht seinen höchsten Stand schon einen Monat nach dem Regenmaximum (Soyka).

Während also in München ein Ansteigen des Grundwassers eine durch Regenwasser erfolgte akute Durchtränkung der oberflächlichen Bodenschichten anzeigt und letztere mit dem Abfallen gleichzeitig trocken

und regenlos sind, werden in Budapest und Berlin steigende Grundwässer zeitlich mit Regenlosigkeit und Trockenheit der oberflächlichen Bodenschichten zusammentreffen und die letzteren bei sinkendem Grundwasser oft gerade am meisten von Regen benetzt sein.

3. Befeuchtung des Bodens durch Ueberschwemmungen, Quellen und Gewerbebetriebe u. A.

Eine häufige Ursache der Bodenfeuchtigkeit bilden Ueberschwemmungen. Diese sind gefürchtet, nicht nur, weil sie den Boden durchfeuchten, sondern auch darum weil sie das Innere der Häuser für eine mehr oder minder lange Zeit feucht und unbewohnbar machen, ferner weil sie Schlamm und fortgeschwemmten Unrath, sowie die im Detritus enthaltenen Keime den Häusern zuführen. Auch kommt es bisweilen zur Ueberschwemmung von Abortgruben, deren Inhalt dem Brunnenwasser beigemischt werden kann.

Quellen, welche unterirdisch an unbekannten Punkten in die oberflächlichen Bodenschichten einbrechen und sich hier ausbreiten, vermögen den Boden zuweilen in größerer Ausdehnung zu durchfeuchten und zu versumpfen.

Bei Gewerbebetrieben endlich, welche sehr viel Wasser verbrauchen, kann es vorkommen, daß der Boden durch das verbrauchte Wasser feucht gemacht wird. Ebenso können Berieselungsanlagen u. dergl. zur übermäßigen Befeuchtung des Bodens, zur Erhöhung des Grundwasserspiegels (Gennevilliers bei Paris) führen.

4. Oertliche und zeitliche Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit.

a) Oertliche Schwankungen.

Wenn man bedenkt, wie mannigfaltig die Faktoren der Bodenfeuchtigkeit sind (atmosphärische Niederschläge, Sickerwasser, Drainwasser, Ueberschwemmungen, Quellen u. s. w.), und wie abweichend sie sich unter verschiedenen Umständen verhalten, wird man von vornherein annehmen können, daß die Feuchtigkeit unseres Bodens nach Ort und Zeit sehr verschieden sein muß.

Im ganzen genommen ist ein Gebiet feucht: wenn es vor allem reichlichen Regenfällen ausgesetzt ist und dabei eine ebene oder gar muldenförmige Lage hat, wenn es die Wässer ansammelt und nicht ablaufen läßt, ferner wenn der Boden eine hohe Bindekraft für Wasser besitzt und das Wasser nicht in die Tiefe eindringen läßt, dabei auch schwer trocknet; feucht ist also ein feinkörniger, lehmiger, torfiger, an organischen Substanzen reicher Boden; des weiteren ein Boden mit oberflächlich gelagertem, schwankendem, reichlichem Grundwasser (aus Regen, Sicker- oder Drainwasser), dann ein Boden mit guter kapillarer Leitung (feinkörnige, an organischen Substanzen reiche Bodenarten); endlich der Ueberschwemmungen u. ä. ausgesetzte Boden.

Dagegen sind trockene Gebiete: die regenarmen Gegenden, Gebiete mit geneigter Oberfläche und impermeablem Boden, ebenso auch die sehr durchlässigen Böden (Kies-, Sandboden), welche das Regenwasser größtenteils rasch in die Tiefe gelangen lassen und rasch austrocknen; ein an organischen Substanzen armer Boden; Gebiete, in

denen das Grundwasser tief steht, gering ist oder sich ruhig verhält, wo die kapillare Leitung unbedeutend ist; von Ueberschwemmungen verschonte Gebiete u. s. f.

Doch kann auf ein und derselben Stelle der Boden in verschiedenen Tiefen von verschiedener Feuchtigkeit sein, je nachdem Regen auf die Oberfläche gelangt, in die Tiefe filtriert und die Oberfläche wieder austrocknet; ferner je nach der wasserbindenden Kraft der auf einander folgenden Bodenschichten, und infolge von Grundwasserschwankungen.

In Budapest ausgeführte Bestimmungen zeigten mir[30], daß die Bodenfeuchtigkeit in 1, 2 und 4 m Tiefe fortwährend wechselt, sodaß bald die eine, bald die andere Bodenschicht feuchter war. Aehnliches berichtet Hofmann[31] aus seinen in Leipzig angestellten Bodenuntersuchungen.

In Budapest fand ich noch, daß die mittlere Jahresfeuchtigkeit im Boden mit der Tiefe abnimmt. Von 1877—1880 betrug der Wassergehalt im Mittel aus 4 Beobachtungsstationen:

Tiefe	Wasser in 1000 g Boden
1	146
2	141
3	113
4	86

Das Grundwasser stand auf allen 4 Stationen mehrere Meter unter dem Boden des tiefsten Bohrloches (4—6 m), konnte somit auch auf die tieferen Schichten des Bohrloches nur von geringem Einfluß gewesen sein.

b) Zeitliche Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit.

Wenn schon konstatiert werden konnte, daß die örtlichen Verhältnisse der Bodenfeuchtigkeit so komplizierten Faktoren gehorchen, so muß man eingestehen, daß auch die zeitlichen Veränderungen dieser Feuchtigkeit von nicht minder komplizierten Faktoren abhängig sind. Hierher gehören: Verteilung und Menge der Niederschläge; Temperatur-, Bewegungs- und Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft, welche auf die Verdunstung regulierend einwirken; Verhalten des Bodens gegen Wasser und Feuchtigkeit; Stand und Schwankungen des Grundwassers u. a. m.

Doch ist die zeitliche Schwankung der Bodenfeuchtigkeit in erster Reihe von den Regenfällen abhängig. Durch die reichlichen Frühjahrsregen in unserem Klima, sowie durch Platzregen und andere Niederschläge in den übrigen Jahreszeiten wird vor allem die oberflächliche Bodenschicht über ihre wasserbindende Kraft hinaus mit Feuchtigkeit gesättigt. Dieser Wasserüberschuß wird nun rascher oder langsamer in die Tiefe sinken, die Oberfläche beginnt auszutrocknen, das in den unter ihr liegenden oberen Bodenschichten gebundene Wasser wird durch die Konkurrenz der Kapillarkräfte nach denjenigen Stellen in Bewegung gesetzt, wo in den Kapillaren weniger Wasser enthalten ist, also gegen die austrocknende Oberfläche, und der Boden wird in dieser Weise wieder allmählich nach der Tiefe zu austrocknen, bis ein neuer Niederschlag dazu kommt und der ganze Prozeß von vorn anfängt.

In den oberflächlichen Bodenschichten ist der geschilderte Wechsel von hochgradiger Feuchtigkeit und Austrocknung ein

rascher und wird zu allen Jahreszeiten, vorwiegend aber im Sommer eintreten.

Bis zu welcher Tiefe diese Schicht hinabreicht, kann nicht bestimmt gesagt werden. Sie ist von der Verteilung der Niederschläge, von der Beschaffenheit des Bodens und anderen Faktoren abhängig. Wo Niederschläge und Austrocknen rasch wechseln, werden die besprochenen Feuchtigkeitsschwankungen auf geringere Tiefen sich erstrecken, während an Orten, wo die Regenmenge mit längeren Unterbrechungen niedergeht (Regenperioden der Aequatorialgegenden), eine mächtigere Bodenschicht für einen längeren Zeitraum mit Feuchtigkeit übersättigt, dann wieder für längere Zeit überaus trocken sein wird. Auch in Sand- oder Kiesboden müssen die Feuchtigkeitsschwankungen rascher verlaufen und auf größere Tiefen eindringen als in einem lehmigen, mit organischem Detritus verunreinigten Boden.

In unserem Klima ist diese Bodenschicht mit rasch veränderlicher Feuchtigkeit kaum 1 m (im Herbst) im Frühjahr oder Sommer nicht einmal so stark.

Hofmann nennt diese Schicht sehr zutreffend „Verdunstungszone“[32].

Von der Bodenoberfläche bis zur Wirkungsgrenze des Grundwassers wird die Bodenfeuchtigkeit durch Niederschläge und Austrocknung in mäßigerem Rhythmus reguliert. Auch hier wird der Boden durch niedergehendes Regenwasser zeitweilig übersättigt werden, dann bis zur Grenze seiner wasserbindenden Kraft feucht bleiben, endlich auch diese Feuchtigkeit durch Kapillarität, welche das Wasser gegen die austrocknenden Stellen (die oberflächlichen Schichten) ableitet, vermindert werden. Aus den in Budapest von 1877—1880 angestellten direkten Bestimmungen ergeben sich für die 4 Beobachtungsstationen und für die Tiefen von 1, 2 und 4 m in den einzelnen Monaten folgende Feuchtigkeitsschwankungen[33]. Es waren enthalten in je 1000 g Boden g Wasser im:

März	102	August	118
April	123	September	109
Mai	125	Oktober	101
Juni	117	November	95
Juli	119		

Die Feuchtigkeit des Bodens (Mittelsand) war also vom Winter zum Frühjahr beträchtlich vermehrt, erreichte im Mai ihr Maximum und nahm dann im Sommer langsamer, gegen Herbst aber rascher wieder ab.

Dabei ist es nur natürlich, wenn die tieferen Schichten ihr Feuchtigkeitsmaximum später erreichen und auch später austrocknen als die oberflächlichen. So betrug der Wassergehalt des Bodens in Budapest auf allen 4 Beobachtungsstationen, im Mittel aus 4 Jahren, in den einzelnen Tiefen:

	März-Mai	Juni-August	Sept.-Nov.
in 1 m Tiefe	147	131	117
„ 2 „ „	144	135	117
„ 3 „ „	106	111	102
„ 4 „ „	81	94	74

Die größte Feuchtigkeitsschwankung beobachtet man in der oberflächlichen Bodenschicht, wo der Boden durch Regen rasch

übersättigt, aber durch Verdunstung rasch ausgetrocknet wird. Tiefer unten, wo aber die Feuchtigkeit des Grundwassers noch nicht zur Geltung kommt, ist die Bodenfeuchtigkeit successive geringer, gleichzeitig aber auch konstanter. Diese Region nennt Hofmann die „Durchgangszone".

Das Feuchtigkeitsminimum kann im Boden an der Oberfläche vorkommen, wo die Austrocknung im Sommer einen Grad erreichen mag, bei welchem organische Zersetzungsprozesse und das Gedeihen von Pilzen zeitweilig unmöglich werden (s. unten). Doch ist schon etwas tiefer unten eine so hochgradige Austrocknung nicht wahrscheinlich, weil die tieferen Schichten der austrocknenden Wirkung der Atmosphäre widerstehen, und weil andererseits auch aus dem Grundwasser durch Kapillarität Feuchtigkeit dahin aufsteigen kann. In Budapest enthielt der Boden in 1 m Tiefe bei der beobachteten größten Dürre 40 g Wasser auf 1 kg Erde und in 4 m Tiefe 32 g. Der höhere Wassergehalt (die geringere Austrocknung) der 1 m tiefen Schicht war offenbar durch den Reichtum des Bodens an organischer Substanz bedingt, welche seine wasserbindende Kraft erhöhte und seine Austrocknung erschwerte. Also auch in 1 m Tiefe zeigt die Austrocknung (in Budapest) nicht einen Grad, der das Leben der Mikroorganismen und die Zersetzungsprozesse unmöglich machen würde (s. unten, Kap. V und VI).

Anders wird das Bild der Bodenfeuchtigkeit sein, wo auf letztere auch Stand und Schwankungen des Grundwassers, sowie dessen Kapillarwirkungen von Einfluß sind.

Die vom Grundwasser konstant erfüllte Bodenschicht wird fortwährend, die oberhalb jener folgende Schicht, in welche der Grundwasserspiegel sich während der Schwankungen erhebt, zeitweilig bis zum Maximum durchfeuchtet sein; die oberhalb dieses Grundwasserniveaus folgenden Schichten endlich werden in einem Maße und in einer Ausdehnung, welche der Kapillarität entsprechen, benetzt sein. Hofmann nennt letztere die „Zone der kapillaren Grundwasserstände"; hier wird die Feuchtigkeit im ganzen größer sein und zugleich beträchtlicher schwanken als in der Durchgangszone.

Aus alledem geht klar hervor, daß je oberflächlicher der Grundwasserspiegel steht und je höher derselbe zeitweilig ansteigt, ferner je größer die Kapillarität des Bodens ist, um so wahrscheinlicher ist es, daß die oberflächlichen, verunreinigten, also in hygienischer Beziehung vorwiegend wichtigen Bodenschichten durch das Grundwasser befeuchtet werden. Hingegen kann ein tief stehendes Grundwasser, mit geringen Schwankungen, in einem Boden von geringer Kapillarität, auf die Befeuchtung und die Feuchtigkeitsschwankungen in den oberen Bodenschichten nur von geringem Einfluß sein.

Im allgemeinen wird das Grundwasser den Boden zu Zeiten, wenn es ansteigt, stärker befeuchten, als wenn es fällt. Andererseits steht es fest, daß je bedeutender das Steigen und Sinken, also je größer die Amplitude der Schwankungen war, um so mächtiger auch die befeuchtete Bodenschicht und um so größer die Durchfeuchtung und Austrocknung. So wird also mit den Grundwasserschwankungen im allgemeinen auch die Befeuchtung und Austrocknung des Bodens in gewissen Schichten einhergehen.

Es fragt sich nun, ob man aus den Regenfällen oder aus den Grundwasserschwankungen auf die zeitlichen Veränderungen in der Bodenfeuchtigkeit folgern darf?

c) Abschätzung (Messung) der örtlichen und zeitlichen Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit.

Aus der Regenmenge und der zeitlichen Verteilung der Niederschläge kann man bloß auf die Feuchtigkeitsschwankungen in den obersten Bodenschichten verläßliche Schlüsse ziehen. Schon um ein geringes unter der Oberfläche mag der zeitliche Unterschied zwischen Regen und Bodenfeuchtigkeit bedeutend sein. Im Sommer und Herbst, wenn die Bodenoberfläche trocken ist, werden selbst durch starke Regenfälle bloß geringe Bodenschichten durchfeuchtet und diese wieder austrocknen, ohne daß auch nur die geringste Feuchtigkeit auf einigermaßen beträchtlichere Tiefen eingedrungen wäre. In diesen Schichten vermag das Regenwasser höchstens das kapillare Aufsteigen der Feuchtigkeit zu verlangsamen.

Es kann mithin aus den Regentabellen auf die Feuchtigkeit aller oberhalb des Grundwassers gelegenen Bodenschichten nicht gefolgert werden. Desgleichen lassen nicht einmal die jährlichen Regenmengen sichere Schlüsse auf die stärkere oder geringere Durchfeuchtung des Bodens im betreffenden Jahre zu, weil das Maß der Befeuchtung von den Jahreszeiten abhängt, auf welche die Regenmenge verteilt war. Sommerregen, welche zwar in Summa bedeutend, aber auf kleine Portionen verteilt waren, werden in der Feuchtigkeit der unter der Oberfläche gelegenen Schichten einen Wechsel kaum hervorrufen.

Regenfälle liefern mithin bloß für die Durchfeuchtung der obersten Bodenschichten (der „Verdunstungszone") einen verläßlichen Maßstab.

Doch finden wir auch im Stand und den Schwankungen des Grundwassers keinen verläßlicheren Maßstab für die zeitlichen Veränderungen der Feuchtigkeit aller Bodenschichten über dem Grundwasserspiegel. Da nämlich bloß das oberflächlich gelegene Grundwasser vermittelst der Kapillarität in den oberen Bodenschichten eine nennenswerte Feuchtigkeit verursachen kann und höchstens noch dasjenige, welches während bedeutender Schwankungen der Bodenoberfläche sehr nahe kommt, werden nun ähnlich beschaffene Grundwässer — und gerade diese sind am seltensten! — mit ihrem Stand den Grad und die Schwankungen der Feuchtigkeit in den oberhalb gelegenen, hygienisch gerade wichtigsten Bodenschichten unmittelbar anzeigen. Hingegen wird schon bei einem etwas tiefer gelegenen Grundwasser und bei geringeren Grundwasserschwankungen Feuchtigkeit von dem Grundwasser in die oberflächlichen Bodenschichten nicht gelangen. Unter solchen Umständen wird zwischen Stand und Schwankungen des Grundwassers und der Feuchtigkeit der oberflächlichen Bodenschichten ein direkter Zusammenhang nicht bestehen, hier werden die Grundwasserschwankungen nicht direkt anzeigen, daß die Feuchtigkeit der oberflächlichen Schichten die nämliche Veränderung erfahren hat.

Es wurde aber angenommen, daß Schwankungen im Grundwasserstand, selbst wenn dieselben sich innerhalb bescheidener Grenzen bewegen, trotzdem die Feuchtigkeitsschwankungen in den oberhalb

gelegenen Bodenschichten insofern indirekt anzeigen könnten, als dem Steigen des Grundwassers eine Durchfeuchtung des Bodens durch Regenwasser unmittelbar vorangegangen war, und als andererseits, wenn ein Fallen des Grundwasserspiegels aus Regenmangel eintritt, dasselbe auch einen regenlosen, also trockenen Zustand der oberen Bodenschichten dokumentieren wird. Auf dieser Grundlage wurde ein Zusammenhang zwischen Grundwasserschwankungen und Bodenfeuchtigkeit in dem Sinne angenommen, daß erstere, wenn auch nicht die Ursache, so doch einen Indikator für die letztere abgeben.

Doch ist auch diese indirekte Anzeige der Bodenfeuchtigkeit von geringem Wert, weil sie Irrtümern zu sehr ausgesetzt ist. Haben wir doch gesehen, wie z. B. Regenfälle im Sommer und Herbst die oberen Bodenschichten zeitweilig bedeutend durchfeuchten können, ohne daß dies durch den Grundwasserstand angezeigt würde, weil vom Regen nichts bis zum Grundwasser gelangt, ja sogar das letztere zur selben Zeit in fortwährendem Sinken begriffen sein kann.

Ferner wird der Grundwasserstand die Regenfälle, wenn diese dort wirklich in die Tiefe gelangen, erst verspätet anzeigen, und kann die Verspätung nach Orten sehr verschieden sein. Es ist also sehr schwierig, aus den Grundwasserschwankungen auf die zeitliche Durchfeuchtung der oberen Bodenschichten Schlüsse zu ziehen.

Insbesondere wird aber ein Steigen des Grundwassers nicht immer von den lokalen Regenfällen, sondern sehr häufig von Drainage- oder Sickerwässern verursacht sein, wie sich dies z. B. für Budapest, Berlin u. a. Orte nachweisen läßt. Für Berlin war z. B. weiter erwähnt worden, daß die höchsten Grundwasserstände gerade auf eine Zeit fielen, als die oberflächlichen Bodenschichten die Feuchtigkeit am meisten entbehrten, als sie am stärksten ausgetrocknet waren. Wird nun der Grundwasserspiegel durch Hochwasser im Flusse oder durch anlangende Drainagewässer gehoben, so mußte diesem Steigen offenbar nicht eine Durchfeuchtung der oberhalb gelegenen Bodenschichten vorangegangen sein; bei etwas tieferem Grundwasserstand, in einem nicht besonders kapillaren Boden wird sogar ein solches Steigen in den oberen Bodenschichten nicht einmal nachträglich eine nennenswerte Feuchtigkeit verursachen.

Aus alledem muß gefolgert werden, daß Schwankungen des Grundwassers für die zeitlichen Veränderungen in der Feuchtigkeit der oberhalb gelegenen Bodenschichten nicht einmal einen indirekt verläßlichen Indikator abgeben, und daß es nur unter gewissen Verhältnissen, wo nämlich der Grundwasserspiegel wirklich in erster Reihe durch die lokalen Regenfälle erhöht wird, ferner unter Beobachtung gewisser Kautelen, hinsichtlich der Sommer- und Herbstregen, statthaft ist, die Grundwasserschwankungen als Ausdruck der Veränderungen in der Feuchtigkeit der darüber gelegenen Bodenschichten anzusprechen.

Uebrigens hat schon Pettenkofer selbst wiederholt darauf hingewiesen [84], daß das Grundwasser die Durchfeuchtung und Austrocknnng der darüber gelegenen Bodenschichten nicht anzeigen wird, wenn z. B. sein Steigen der Stauwirkung von Flüssen, das Fallen aber z. B. einer Drainageeinrichtung zuzuschreiben ist. Auf Grund obiger Erörterungen kann hinzugefügt werden, daß es noch eine ganze Reihe von Fällen giebt, in welchen die Grundwasserschwankungen auch keinen Indikator für die zeitlichen Veränderungen in der Feuchtigkeit der über dem Grundwasser gelagerten Bodenschichten abgeben können.

Nach alledem wird man, wenn man die epidemiologische Bedeutung der Bodenfeuchtigkeit und ihrer Veränderungen studieren und beurteilen will, nicht richtig vorgehen und leicht zu Trugschlüssen gelangen, wenn man auf den Feuchtigkeitsgrad des Bodens einfach aus der Regenmenge oder aus den Grundwasserschwankungen schließen wollte, weil sowohl Regenfälle als Grundwasserschwankungen den Feuchtigkeitsgrad sehr unrichtig anzeigen können. Man darf daher nur mit der äußersten Vorsicht und mit Berücksichtigung der konkreten Lokalverhältnisse aus Regen- und Grundwasserschwankungen auf die örtlichen und zeitlichen Feuchtigkeitsverhältnisse verschiedener Orte folgern, und nur mit solcher Vorsicht die Regen- und Grundwasserverhältnisse verschiedener Orte miteinander in epidemiologischer Hinsicht vergleichen[35].

Wo der Einfluß von Regen und Grundwasserschwankungen auf die Bodenfeuchtigkeit sich so kompliziert gestaltet, bedarf es offenbar eines anderen verläßlicheren Indikators, um den thatsächlichen Feuchtigkeitsgrad des Bodens zu erfahren. Als solcher wurde das sogen. Sättigungsdefizit der atmosphärischen Feuchtigkeit in Vorschlag gebracht[36], worunter die Menge Wasserdampf verstanden wird, welche bei gegebener Temperatur und relativer Feuchtigkeit zur vollständigen Sättigung der Luft noch benötigt würde. Dieses Sättigungsdefizit verläuft selbstverständlich mit dem Trockenheitsgrad der Atmosphäre, mit dem Regenmangel, daher auch mit dem Austrocknen der Bodenoberfläche parallel. Ein längerer Regenmangel, Austrocknung der Bodenoberfläche und hohes Sättigungsdefizit können daher zusammenfallen, müssen es aber nicht; denn es kann vorkommen, daß der Boden auch bei hohem Sättigungsdefizit durch Grundwasser von unten her befeuchtet wird. Es ist wohl wahr, daß das Grundwasser bei hohem und langanhaltendem Sättigungsdefizit (Regenmangel und Austrocknen der Bodenoberfläche) meist sinken wird, weil es von oben keine Zufuhr erhält, überdies durch Kapillarität an die Oberfläche Wasser abgiebt. Doch ist, wie ausgeführt wurde, das Grundwasser in vielen Fällen nicht der Ausdruck für die lokalen Regenfälle und Austrocknungsvorgänge, sondern für Drainage- oder Flußwasserverhältnisse, und so kann es an manchen Stellen vorkommen, daß der Boden auch bei hohem Sättigungsdefizit, sowie bei Regenmangel eigentlich doch feucht ist und das Grundwasser hoch steht.

Also auch das Sättigungsdefizit wird nur bei vollkommener Kenntnis und konkreter Erwägung der lokalen Verhältnisse ein Bild und Maß für die Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit abgeben können.

Aus alledem geht aber hervor, wie nützlich, ja unentbehrlich es wäre, wenn man die örtlichen und zeitlichen Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens durch genauere, verläßlichere und miteinander vergleichbare Methoden bestimmen könnte. Eine solche Methode hat Fodor in Budapest angewandt[37], wo in bestimmten Zeiträumen an verschiedenen Beobachtungspunkten in der Stadt mit einem hierzu geeigneten Bohrer Bodenproben aus gewissen Tiefen entnommen und durch Austrocknen bei 110 ° C auf Feuchtigkeit untersucht wurden.

Pfeiffer[38] und Fleck[39] meinten im Wasserdampf der Grundluft einen direkten Indikator für die Bodenfeuchtigkeit gefunden zu haben; doch stellte sich gar bald heraus (Fodor, Fleck), daß diese Messungen unverläßlich und unzweckmäßig sind, weil die Grundluft in der Regel sowohl bei mäßiger als auch bei hoher Feuchtigkeit des Bodens mit Wasserdampf gleichförmig gesättigt ist.

1) **J. Hann**, *Hdb. d. Klimatologie, Stuttgart* (1883), 99.
2) *S.* **Soyka**, *Boden*, 296.
3) *S.* **Soyka**, *Boden*, 299.
4) **Pettenkofer**, *Die Cholera und die Bodenbeschaffenheit in . . . Krain. Aerztl. Int.-Blatt, München* (1861); *ferner: Cholera in Gibraltar, Malta und Gozzo, Z. f. Biol.* (1870) *Heft I, II.*
5) **R. v. Schwarz**, *Erster Bericht ü. d. Arb. d. k. k. landw. chem. Vers. Stat. in Wien* (1870/71).
6) **Orth**, *V. f. ger. Med. etc.* (1874).
7) **Flügge**, *Z. f. Biol.* 13.
8) *S.* **Dehérain**, *Cours de chimie agricole* (1873), 256.
9) *Arch. f. Hyg.* 1. *Bd.* 279.
10) *Z. f. Biol.* 15. *Bd.* 282.
11) *Z. f. Biol.* 4. *Bd.* 2.
12) *Arch. f. Hyg.* 2. *Bd.* 153.
13) *S.* **A. Mayer**, *Handb. d. Agr. Chemie, Heidelberg* (1871) 2. *Bd.* 174.
14) *Die Drainage, Leipzig* (1870) 22.
15) *Vgl.* **Soyka**, *a. a. O. S.* 97.
16) *S.* **Dehérain**, *Cours de chimie agricole* (1873) 257. — **Mayer**, *Lehrb. der Agrikult. Chemie* (1871) 2. *Bd.* 133.
17) *S.* **Mayer**, 2. *Bd.* 136. — **Dehérain**, 259.
18) *Hauptbericht über die Choleraepidemie des Jahres* 1854 *im Königreich Bayern, München* (1857).
19) **Fodor**, *Hygien. Unters. über Luft, Boden und Wasser, Braunschweig* (1881—82).
20) **F. Karrer**, *Der Boden der Hauptstädte Europas, Wien* (1881). — **Soyka**, *Der Boden.* — **A. Daubrée**, *Les eaux souterraines, Paris* (1887).
21) **E Suess**, *Ueber den Lauf der Donau, Oesterr. Revue* (1866). — *Vgl* **Soyka**, *Boden.*
22) *S.* **Soyka**, *Boden*, 260.
23) *Journ. f. Gasbel. u. Wasserversorg.* (1880).
24) **Fodor**, *Hygien. Unters.* 2. *Abt.*, 98.
25) **Parkes**, *Manuel of Pract. Hygiene* (1883) 327.
26) *Monatl. Uebersichten der Ergebnisse von hydrometrischen Beobachtungen etc., herausg. v. d. Sect. d. techn. u. adm. Milit.-Komités, Wien.*
27) **Fodor**, *Hyg. Untersuchg. von Luft, Boden u. Wasser etc.*
28) **Fodor**, *V. f. öff. Ges.* 7.
29) *Hyg. Unters. II. Abt.* 85.
30) **Fodor**, *Hyg. Unters. II. Abt., Taf. VI, Fig.* 3.
31) **Hofmann**, *Arch. f. Hyg.* 1. *Bd.*
32) *Arch. f. Hyg* 1. *Bd.*
33) **Fodor**, *Hyg. Unters. v. Luft, Boden u. Wasser.*
34) **Pettenkofer**, *Z f Biol.* 6. *Bd.* 257.
35) *Vgl. auch* **Soyka**, *in Penck's Geogr. Abh.* (1888) *II. Heft* 3.
36) *Vgl.* **Soyka**, *Der Boden, S.* 301.
37) *Ueber die Ziele und Methoden der Bodenuntersuchungen, Jahrbuch des Königl. Vereins Budapester Aerzte* (1876) [*Ungarisch*]. — *Vgl. auch* **Fodor**, *Hyg. Unters. über Luft, Boden und Wasser, II. Abt.* 74.
38) **Pfeiffer**, *Z. f. Biol.* (1873) 243.
39) **Fleck**, *Jahresberichte d chem. Centralstelle, Dresden* (1873) *u. ff.*

VIERTES KAPITEL.

Die Grundluft.

Pettenkofer war es, der am Anfang der siebziger Jahre den Lehrsatz zuerst aufstellte, daß die Luft an der Bodenoberfläche ihr Ende noch nicht erreicht, sondern in die Tiefe des Bodens eindringt und sich dort an der Zersetzung der organischen Substanzen beteiligt, wodurch sie zu einer hygienischen Bedeutung gelangt. Diese im Innern des Bodens enthaltene Luft ist die Grundluft.

Die Vorbedingung für die Möglichkeit, daß Luft (und auch Wasser) in den Boden eindringen, ist in der Porosität des Bodens gegeben, worunter jene Struktur des Bodenmaterials verstanden wird, bei welcher die Erdpartikel miteinander nicht vollständig, von allen Seiten und an der ganzen Oberfläche in Berührung stehen, sondern Hohlräume einschließen, in welchen sowohl Luft als auch andere Substanzen (Wasser, Schmutzstoffe) enthalten sein können.

Hinsichtlich des physikalischen Verhaltens der für die Hygiene wichtigen Bodenarten zur Luft sind besonders zwei Momente von Bedeutung: die Summe der Hohlräume zwischen den Bodenpartikeln (= Porosität [Fodor], Porenvolumen [Renk]*), und die Größe, sowie die hieraus folgende leichtere oder schwerere Durchlässigkeit der Hohlräume für Luft (= Permeabilität).

1) Luftgehalt des Bodens.

Die Summe der Hohlräume im Boden, das Porenvolumen, ist vorwiegend von der Größe, Form und Lagerung der Erdpartikelchen, wodurch die Hohlräume entstehen, abhängig[1]. Nach Pettenkofer kann das Porenvolumen eines Bodens bestimmt werden, indem man lufttrockene Proben in kalibrierte Glaszylinder bringt und so lange schüttelt, bis sich kein weiteres Setzen zeigt. Jetzt wird dem bekannten Volumen Boden Wasser von bekanntem Volumen zugefügt, das Ganze

*) Renk's Bezeichnung ist zwar länger, aber klarer, und weil sie Mißverständnisse eher ausschließen kann, will auch ich sie acceptieren.

gut durchgeschüttelt und das vereinigte Volumen abgelesen. Um wie viel dieses weniger als die Summe der beiden Volumina ist, so viel betrug das Porenvolumen des Bodens.

Diese Methode eignet sich auch als Vortragsversuch.

Flügge hingegen bestimmt das Porenvolumen in der Weise[2], daß er mittelst Messingcylinder natürliche Bodenproben aussticht, die in einem abgeschlossenen Raum befindliche Bodenprobe so lange mit Kohlensäure anfüllt, bis die Luft ausgetrieben ist und zum Schluß das Volumen der wieder ausgetriebenen Kohlensäure bestimmt; er fand in lufttrockenen Bodenproben folgende Porenvolumina:

Kies	38,4—40,1 Proz.
Sand	35,6—40,8 „
Lehm	36,2—42,5 „
Gemenge aus gleichen Teilen Kies und Sand	23,1—28,9 „

Schwarz[3] nahm Proben von gewachsenem Boden, bestimmte (trocken) deren absolutes und spezifisches Gewicht und folgerte hieraus auf das wirkliche Porenvolum, für welches er folgende Zahlen erhielt:

Grobsand	39,4 Vol. Proz.
Lehmboden, ohne organische Substanzen	45,1 „ „
Thonboden, mit „ „	52,7 „ „
Mooriger Boden, mit 82 Proz. organischen Substanzen	84,0 „ „

Mit den soeben beschriebenen Versuchen stimmen auch die Ergebnisse anderer Forscher, die mit ähnlichen oder auch anderen Methoden arbeiteten, überein, so daß im allgemeinen angenommen werden kann, daß das Porenvolumen in Torf, humösen und feinkörnigen Bodenarten am größten, in grobkörnigen Arten schon kleiner, und in Gemengen grob- und feinkörnigen Materials am kleinsten ist. Diese Verhältnisse beruhen auf so einfachen natürlichen Ursachen, daß ich von einer eingehenden Beweisführung absehen kann. Daß Torf und Humus das größte Porenvolumen besitzen, hat seinen Grund offenbar darin, daß diese Bodenarten gleichsam bloß aus einem fein gewobenen Gerüst bestehen, dessen Maschenräume mit Luft erfüllt sind. In grobkörnigem Boden sind zwar die Hohlräume zwischen den Erdpartikeln einzeln groß, gleichsam sichtbar, aber die Anzahl der Partikel und so auch der Hohlräume ist gering, das Volumen wird größtenteils durch kompaktes Gesteinsmaterial eingenommen. Endlich sind im feinkörnigen Boden sowohl die Erdpartikel als auch die Hohlräume zwischen denselben zwar klein, aber zahlreich. Ein mit feinkörnigem Material gemengter grobkörniger Boden wird das kleinste Porenvolumen aufweisen, weil in die Hohlräume zwischen die großen Stücke feinkörniges Material eingedrungen ist und dieselbe teilweise ausfüllt. Es bedarf auch keiner weiteren Erklärung, daß das Porenvolumen im gewachsenen, dann in einem festgestampften oder mit feinkörnigem Material eingeschlämmten Boden geringer ist als in einem aufgelockerten, dem Einschlämmen nicht ausgesetzten oder frisch angeschütteten Boden.

Der Luftgehalt des Bodens wird nur selten seinem absoluten oder Gesamtporenvolumen entsprechen, weil die Hohlräume oft durch Wasser teilweise oder auch vollständig occupiert sind. Den thatsächlichen Gehalt an Grundluft eines natürlichen Bodens zu einer gegebenen Zeit wird man daher nicht einfach aus jenem Poren-

volumen beurteilen, sondern von letzterem noch das Volumen des im Boden enthaltenen freien Wassers zu subtrahieren haben.

Hieraus ist klar, daß der Gehalt des Bodens an Grundluft dem Feuchtigkeitsgrad entsprechend und mit diesem parallel abnimmt. In feuchten Bodenarten, dann in den tieferen Bodenschichten, welche der Austrocknung nicht ausgesetzt sind, wird im allgemeinen weniger Grundluft enthalten sein als in Bodenschichten, welche oberflächlich liegen und rasch austrocknen.

Periodische Durchfeuchtung des Bodens durch Regenfälle oder steigendes Grundwasser wird den Luftgehalt im Boden zeitweilig vermindern und aus den vom Grundwasser gänzlich überfluteten Bodenschichten sogar alle Grundluft austreiben.

Organische Stoffe, Schmutz, die in die Hohlräume des Bodens eindringen und sich an der Oberfläche der Bodenpartikel ansetzen, vermindern ebenfalls den Luftgehalt des Bodens.

2) Permeabilität des Bodens für Luft.

Die Durchlässigkeit oder Permeabilität des Bodens für Luft wird wieder von mehreren Faktoren bedingt sein. An die erste Stelle ist die Weite der Hohlräume zu setzen; ein grobkörniger Boden ist daher durchlässiger als ein feinkörniger. Andererseits wird die Permeabilität durch Feuchtigkeit vermindert, weil das Wasser die Oberfläche der Bodenpartikel überzieht und die Hohlräume zwischen denselben einengt. Die Permeabilität mag durch Feuchtigkeit sogar gänzlich aufgehoben werden, weil das in den Hohlräumen durch Kapillarität festgehaltene Wasser die Luftwege von kapillarer Feinheit zum Teil oder sämtlich verstellen kann. Dies geht aus zahlreichen Versuchen hervor[4].

Fleck hat durch gleich hohe Schichten verschiedener lufttrockener Bodenarten Luft aspiriert und auf die Permeabilität aus dem Manometerstand gefolgert; so erhielt er folgende relative Permeabilitäten:

Kies	100,00
Kies und Sand	62,33
Sand (grobkörnig, mit etwas Thon)	61,60
Sand (feinkörniger)	45,86
Sand (noch feinkörniger)	38,34
Lehmiger feinkörniger Sand	1,09
Lehm	0,52

Renk hinwieder hat Bodenproben verschiedener Korngröße (von oben durch Irrigation, von unten durch Einstellen in Wasser) bis zur Grenze der wasserbindenden Kraft des Bodens befeuchtet, und konnte dann folgende Luftmengen durch den Boden aspirieren:

Material	Korngröfse mm	Porenvolumen Proz.	Manometerdruck des Aspirators (mm Wasser)	Geförderte Luftmenge pro Stunde (l) trocken	befeuchtet von oben	befeuchtet von unten	Zurückgehaltene Wassermenge in % des Porenvolums bei Befeuchtung von oben	von unten
Mittelkies	< 7	37,9	20	15,54	14,63	13,70	6,6	12,6
Feinkies	< 4	37,9	40	14,04	13,16	12,55	7,8	16,9
Grobsand	< 2	37,9	40	2,33	1,91	1,71	23,4	31,2
Mittelsand	< 1	55,5	150	0,84	0,23	0,00	36,4	46,5
Feinsand	< 1/3—1/4	55,5	150	0,01	0,00	0,00	65,1	77,4

Die Permeabilität hat also mit dem Kleinerwerden der Korngröße und mit der Durchfeuchtung des Bodens abgenommen.

Als Vorlesungsversuche eignen sich die folgenden: Man bringt in gleich weite Glasröhren gleich hohe Schichten trockener Bodenproben von verschiedener Korngröße (die durch Siebsätze erhalten wurden); von je zwei Röhren mit dem nämlichen Boden wird die eine bis zur Grenze der wasserbindenden Kraft durchtränkt, dann beide mit Aspiratoren verbunden, welche mit Manometern versehen sind, und unter Einhalten gleichen Manometerdruckes aspiriert. Feinkörniger und feuchter Boden wird kaum etwas Luft durchlassen, der grobkörnige und trockene aber sehr viel.

Soyka hat durch in der beschriebenen Weise gefüllte Röhren Leuchtgas geleitet und mit der verschiedenen Größe der Glasflammen die verschiedene Permeabilität der Bodenarten demonstriert. Pettenkofer hat gezeigt daß man durch in einem weiten Cylinder enthaltenen (leicht permeablen) Boden Luft durchblasen und die Permeabilität des Bodens durch Ausblasen einer vorgehaltenen Kerze veranschaulichen kann.

Die obigen Versuche beweisen, daß in einem feuchten Lehmboden, wo ohnedies wenig Luft verblieben ist, diese in der Bewegung und in ihrem Austausch mit der Atmosphäre sehr behindert ist; dagegen wird in einem Kies- oder Sandboden, selbst wenn er feucht ist, nicht nur mehr Luft verbleiben, sondern diese auch leichter hin- und herströmen und mit der Atmosphäre in Austausch treten können.

Daß diese Verhältnisse auf die im Boden verlaufenden Zersetzungsprozesse, deren Charakter und Schnelligkeit, sowie auf deren mit der Permeabilität parallel verlaufenden Veränderungen von wesentlichem Einfluß sind, versteht sich wohl von selbst, soll aber weiter unten noch ausführlicher besprochen werden.

Die Permeabilität des Bodens, resp. die Möglichkeit von Luftbewegung im Boden ist auch von der Mächtigkeit der Bodenschichten abhängig, durch welche die Luft zu dringen hat und wo sie Reibung erfährt. Welitschkowsky hat nachgewiesen, daß die Permeabilität des Bodens mit der Mächtigkeit der Schicht, obschon in langsamerer Progression, abnimmt. Endlich geht aus den Untersuchungen von Amon und von Renk hervor, daß die Permeabilität eines feuchten Bodens durch Gefrieren noch weiter vermindert wird (a. a. O.).

3) Konstitution der Grundluft.

Boussingault und Lévy aspirierten bereits im Jahre 1852 Luft aus dem Ackerboden[5], und zwar aus einer Tiefe von 0,3 und 0,4 m, und haben dabei die auffallende Erfahrung gemacht, daß jene Luft sehr reich an Kohlensäure, hingegen arm an Sauerstoff war. Sie fanden bei einer ihrer Bestimmungen in 100 Raumteilen Grundluft:

Sauerstoff	10,35	Volume
Kohlensäure	9,74	„
Stickstoff	79,91	„

Diese Arbeit hat aber trotz der Originalität und Neuheit der Idee und ihrer Tragweite auf die Denkungsart der Hygieniker keinen Einfluß gehabt, bis Pettenkofer i. J. 1871 seine eigenen Untersuchungen über die chemischen Eigenschaften der Grundluft mitteilte[6] und nachwies, daß die Grundluft reicher an Kohlensäure ist als die freie Luft,

ferner daß der Kohlensäuregehalt mit der Tiefe zunimmt, und im Herbst am größten, im Frühjahr aber am kleinsten ist.

Nach ihm haben Fleck[7], Fodor[8], Nichols[9], Lewis und Cunningham[10], Möller[11], Smolensky[12], Wolffhügel[13], Renk[14] und wiederholt Pettenkofer selbst[15] und andere die Eigenschaften und die hygienische Rolle der Grundluft studiert.

Aus diesen Untersuchungen ging zunächst hervor, daß die Grundluft eine Fortsetzung der Atmosphäre in die Poren des Bodens ist, da in den oberflächlichen Bodenschichten und in ganz reinem Boden beide Luftarten dieselbe Zusammensetzung aufwiesen. Es stellte sich aber auch heraus, daß die Grundluft im Boden offenbar zu den Zersetzungsprozessen der organischen Substanzen verbraucht wird, indem dieselbe im unreinen Boden, mit der atmosphärischen Luft verglichen, gerade in dem Maße kohlensäurereicher ist, als sie weniger Sauerstoff enthält. Fodor fand zu Budapest in aus 1 m Tiefe aspirierter Grundluft als Mittel aus 13 Bestimmungen 20,031 Vol.-Proz. Sauerstoff und 1,019 Vol.-Proz. Kohlensäure, was zusammen 21,050 Vol.-Proz. ausmacht, während mit dem nämlichen Eudiometer angestellte Analysen für die atmosphärische Luft 21,029 Vol.-Proz. Sauerstoff ergaben, welche mit dem mittleren Kohlensäuregehalt der Luft 21,068 Vol.-Proz. — also beinahe ganz die in der Grundluft gefundene Menge — ergeben würden.

Es ist klar, daß, wenn die Kohlensäure nicht von einem Sauerstoffverbrauch herrührte, sondern aus einer anderen Quelle in die Grundluft gelangt sei, der Sauerstoffgehalt der Grundluft mehr hätte betragen müssen, als thatsächlich gefunden wurde*).

Doch sind die Mengen der gebildeten Kohlensäure nicht immer dem verbrauchten Sauerstoff entsprechend, sondern zuweilen etwas geringer, häufiger aber bedeutend größer, namentlich in den tieferen Bodenschichten. Zu Budapest enthielt die Grundluft in 4 m Tiefe im Mittel (aus 11 Bestimmungen) in 100 Vol.: Sauerstoff 17,906 + Kohlensäure 3,761 = 21,667. Dies kann aus den Versuchen von Boussingault und Lévy, Popoff[16] und Fodor[17] damit erklärt werden, daß der Kohlensäureüberschuß durch Entziehen von Sauerstoff aus Substanzen herstammt, die viel gebundenen Sauerstoff enthalten, daß also in solchen Fällen im Boden nicht ausschließlich eine einfache Verwesung, d. h. Oxydation durch freien Sauerstoff der Luft stattfindet, wie Fleck annimmt, sondern ausnahmsweise auch eine Reduktion sauerstoffhaltiger Verbindungen, also Fäulnis. Im absichtlich in Fäulnis versetzten — vom Luftzutritt abgeschlossenen — Boden wird der Sauerstoff thatsächlich verschwinden und die entwickelte Kohlensäure, auf 100 Raumteile Luft berechnet, beträchtlich höher als 21 Proz. (das gewesene Mengenverhältnis des Sauerstoffs) steigen, ja bis 49 Proz. und mehr erreichen können (Fodor).

Der vermehrte Kohlensäuregehalt der Grundluft ist also zunächst Folge und Maßstab der Oxydation organi-

---

*) Wenn sich nämlich zu 100 Raumteilen Luft, welche aus 21,030 O 0,038 CO_2 und 78,932 N bestehen, 0,98 CO_2 (0,98 + 0,038 = 1,019) gesellen, müfsten in 100 Raumteilen dieses Gasgemisches 20,82 O enthalten sein und nicht 20,031, wie thatsächlich gefunden wurde. — In einer Luft, welcher Kohlensäure blofs beigemengt wird, verhält sich der Sauerstoff zum Stickstoff wie in der Atmosphäre, also wie 21 : 79; wo aber die Kohlensäure durch Sauerstoffverbrauch gebildet wurde, ist das Verhältnis von O zu N kleiner. In der oben citierten Grundluft war das Verhältnis von O zu N thatsächlich wie 20,3 : 79.

scher Substanzen im Boden, mag aber eventuell auch Folge und Maßstab der Fäulnis im Boden sein.

Außer dieser Kohlensäurezunahme kann eine weitere Veränderung der Luft im Boden nicht recht nachgewiesen werden, was um so mehr auffallen muß, als die aus einem verunreinigten Boden angesogene Luft nicht bloß beißend schmeckt (von der Kohlensäure), sondern auch einen auffallend üblen Geruch verbreitet. Doch kann es an der Unzulänglichkeit der bisherigen Untersuchungen liegen, daß unsere Kenntnisse diesbezüglich negativ sind. In einem künstlich verunreinigten Boden hat Nichols Sumpfgas gefunden, und Fodor konnte Schwefelwasserstoff nachweisen; beide Befunde haben nichts Auffälliges.

Erwähnenswert ist der Befund von Fleck und von Fodor, daß die Grundluft in der Regel mit Wasserdampf gesättigt ist, was nebenbei auch nur natürlich erscheinen wird, weil selbst der trockenste Boden (s. oben) so viel Wasser enthält, daß die Grundluft mit den zur Sättigung nötigen Dämpfen reichlich versorgt werden kann.

Fodor hat die Grundluft in 1 und 4 m Tiefe längere Zeit auch auf Ammoniak untersucht, aber weniger gefunden (0,0188, resp. 0,036 mg pro cbm Luft) als in der Atmosphäre (0,0334).

In der Grundluft kommen ausnahmsweise auch Verunreinigungen vor. So können in Städten aus den Gasleitungen Bestandteile des Leuchtgases und insbesondere auch Ammoniak reichlich in den Boden und in die Grundluft gelangen. Aus kohlensäurereichen Mineralquellen kann Kohlensäure in der Grundluft sich verbreiten, oder es können sogar Kohlensäurequellen direkt eindringen und die Grundluft mit Kohlensäure versetzen. Ueber auf diesem Weg kohlensäurehaltig gewordenen Boden und Grundluft stehen mir keine Angaben zur Verfügung, doch kann aus den bekannten Kohlensäurequellen (Laach, Hundsgrotte bei Neapel, Torja in Ungarn) gefolgert werden, daß ein Ueberfluten der Grundluft mit solcher Kohlensäure möglich ist. Ein ähnliches Eindringen vorgebildeter Kohlensäure in die Grundluft würde sich nach Obigem (Fußnote auf S. 108) dadurch verraten, daß in einer solchen Grundluft, trotz des hohen Kohlensäureprozentes, der Sauerstoff sich zum Stickstoff doch annähernd wie in der Atmosphäre (21 : 79) verhalten würde.

Schwankungen des Kohlensäuregehaltes in der Grundluft.

Wenn man mit organischen Substanzen verunreinigte Bodenproben in Glasgefäße einschließt und zeitweise Luftproben entnimmt, wird man gewahr, daß der Kohlensäuregehalt stetig ansteigt, der Sauerstoff hingegen abnimmt und endlich ganz verschwinden kann.

Auch im natürlichen Boden ist eine beträchtliche Zunahme der Kohlensäure mit paralleler Sauerstoffabnahme zu beobachten, nur daß ein gänzliches Verschwinden des Sauerstoffs hier im natürlichen Boden bisher nicht beobachtet wurde. Pettenkofer konnte im Münchener Boden in 4 m Tiefe bis 28,14 ‰ Kohlensäure beobachten, Fleck zu Dresden in 6 m Tiefe 75,1 ‰ (Maximum aus 1873—75) und Fodor zu Klausenburg in 4 m Tiefe bis 140,02 ‰.

Der Kohlensäuregehalt der Grundluft ist jedoch ein ganz variabler und unbeständiger, und zwar können wir Schwankungen der Kohlensäure nach Ort und nach Zeit unterscheiden.

a. Lokale Unterschiede im Kohlensäuregehalt der Grundluft.

Aus den obigen Beispielen war schon ersichtlich, daß der gefundene höchste Kohlensäuregehalt an verschiedenen Orten (München, Klausenburg, Dresden) nicht übereinstimmte. Aehnliche Unterschiede finden sich aber auch auf verschiedenen Punkten derselben Stadt; so ergaben die zu Budapest an drei voneinander entfernt gelegenen Punkten in 1877—79 angestellten Bestimmungen folgende durchschnittliche Kohlensäurewerte (Fodor):

	In der Tiefe von: 1 m	2 m	4 m
Ullöer-Kaserne . .	4,8 ‰	6,6 ‰	28,7 ‰
Neugebäude-Kaserne	13,7 „	19,3 „	20,1 „ *)
Karls-Kaserne . .	18,1 „	28,4 „	36,5 „

Aus diesen Zahlen ist aber auch zu sehen, wie der Kohlensäuregehalt der Grundluft mit der Tiefe zunimmt, was durch an anderen Orten ausgeführte zahlreiche Bestimmungen ebenfalls bewiesen wird.

Die Zunahme des Kohlensäuregehaltes in verschiedenen Böden und mit der Tiefe ist hauptsächlich von zwei Faktoren bedingt, nämlich von den im Boden verlaufenden, Kohlensäure produzierenden Zersetzungsprozessen, und andererseits von der Permeabilität des Bodens. Je stärker der Boden verunreinigt ist, und je lebhafter die Zersetzungsprozesse vor sich gehen, um so mehr Kohlensäure wird produziert, wie das im nächsten Kapitel ausführlicher dargelegt ist. Hieraus hat man gefolgert, daß der Kohlensäuregehalt der Grundluft ein Indikator für den Grad der Bodenverunreinigung wäre, doch wurde der in dieser Folgerung steckende Irrtum sofort eingestanden, als man erkannte, daß der thatsächliche Kohlensäuregehalt neben der produzierten Menge auch davon abhängen muß, ob die Grundluft mit der Atmosphäre in leichten und raschen Austausch treten kann oder nicht, in welch' letzterem Falle die — vielleicht in geringerer Menge gebildete — Kohlensäure sich anhäufen muß. Der Kohlensäuregehalt ist also auch von der Permeabilität des Bodens abhängig. Hierdurch wird auch erklärlich, warum in Budapest und auch an anderen Orten (Fleck, Wolffhügel u. a.) in den tieferen Bodenschichten mehr Kohlensäure gefunden wurde als in den oberflächlicheren, obschon diese mehr verunreinigt waren.

Fodor hat den Einfluß der Permeabilität auf den Kohlensäuregehalt der Grundluft auch durch direkte Versuche beleuchtet. In zwei große Glascylinder wurde Boden von gleichem Material, aber verschiedener Korngröße, mithin von verschiedener Permeabilität gebracht und in gleichem Maße verunreinigt; das eine Gefäß lieferte Luft mit 2,5 bis 3,2 ‰ CO_2, das andere aber, dessen Bodenprobe eine $5^1/_2$-fach geringere Permeabilität besaß, beinahe 5mal so viel CO_2, nämlich 9,6 bis 12,5 ‰ [18]. Demnach wird die Zunahme des Kohlensäuregehaltes der Grundluft an ein und derselben Stelle mit zunehmender Tiefe nicht etwa durch eine gleiche Zunahme von Schmutz und Zersetzung gegen die Tiefe, sondern vielmehr durch die schwierigere Auslüftung und durch den hier langsameren Austausch mit der kohlensäurearmen freien Luft bedingt sein. Und ebenso wird der verschiedene Kohlensäuregehalt der

*) in 3 m Tiefe.

einzelnen Bodenarten noch nicht anzeigen, daß die Verunreinigung und Zersetzung in diesen verschieden ist, weil derselbe auch von der verschiedenen Permeabilität des Bodens herrühren kann. Auf Verunreinigung und Zersetzung könnte man nur in jenen Fällen mit einiger Berechtigung folgern, wo die verglichenen Bodenproben von gleichen Permeabilität, und trotzdem von bedeutend verschiedenem Kohlensäuregehalt gefunden wurden. Die entgegengesetzte Ansicht von Smolensky und anderen, welche die Bedeutung der Permeabilität des Bodens für den Kohlensäuregehalt der Grundluft niedriger angeschlagen haben, kann nicht acceptiert werden.

b. Zeitliche Schwankungen im Kohlensäuregehalt der Grundluft.

Der Kohlensäuregehalt der Grundluft zeigt auch zeitliche Veränderungen, indem er von Jahr zu Jahr, dann nach Jahreszeiten, ja sogar von einem Tag zum anderen wechselt.

Die von einem Jahr zum anderen beobachteten Veränderungen werden durch folgendes, den Beobachtungen von Fleck entnommenes Beispiel hinlänglich illustriert:

	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Grundluft in Vol.-$^0/_{00}$ in der Tiefe von:		
Jahr	2 m	4 m	6 m
1873	24,4	48,0	61,6
1874	22,0	38,4	57,5
1875	25,2	47,1	48,9

Noch auffallender geht das aus den in Budapest angestellten Grundluftuntersuchungen hervor[19].

Bedeutender als die Jahresschwankungen sind die nach Jahreszeiten beobachteten.

Fodor fand in Budapest den aus mehreren Beobachtungsstationen berechneten mittleren Kohlensäuregehalt in Vol. pro mille für die Jahre 1877—79, wie folgt:

	In der Tiefe von:		
	1 m	2 m	4 m
Januar	6,5	12,6	25,0
Februar	6,8	12,2	24,8
März	7,0	11,8	24,7
April	9,9	14,9	25,2
Mai	11,5	16,1	27,2
Juni	14,5	21,5	29,2
Juli	15,8	22,8	35,9
August	12,8	20,7	32,6
September	10,9	19,3	31,4
Oktober	9,8	15,0	29,4
November	8,4	13,8	26,5
Dezember	8,1	12,6	25,8
Verhältnis der Monatsminima zu den Maxima wie	1 : 2,4	1 : 1,8	1 : 1,4

Noch weitläufiger sind die Schwankungen nach Jahreszeiten in den Tabellen von Fleck, welcher Forscher z. B. im Jahre 1873 für die einzelnen Monate folgende Kohlensäurewerte in Vol. pro mille mitteilt:

	Tiefe von: 2 m	4 m	6 m
Maximum	44,8 (Juli)	60,1 (Okt.)	75,1 (Okt.)
Minimum	7,0 (Febr.)	39,9 (April)	48,9 (Juli)
Verhältnis der Monatsminima zu den Maxima wie	1 : 6,3	1 : 1,5	1 : 1,5

Aus diesen Daten geht auch hervor, daß die Schwankung nach Jahreszeiten im Kohlensäuregehalt der Grundluft in den oberflächlicheren Bodenschichten beträchtlicher ist als in den tiefer gelegenen, ferner daß der maximale Kohlensäuregehalt auf die warme Jahreszeit und zwar um so später fällt, je größer die Bodentiefe, der minimale aber auf das Frühjahr und auch hier mit zunehmender Tiefe immer später.

Aus diesem Verhalten der Grundluft kann auch die Naturkraft erschlossen werden, welcher man die jahreszeitliche Zunahme des Kohlensäuregehaltes hauptsächlich zuschreiben muß: es ist die Erwärmung des Bodens und die damit einhergehende Zersetzung der organischen Substanzen daselbst. Die geringste Kohlensäuremenge wird nämlich im kalten Frühjahrsboden und die größte im warmen Sommer- und Herbstboden angetroffen. Eine zeitliche Vermehrung der Kohlensäure in der Grundluft vermag daher für eine gewisse Stelle einen Indikator für die Intensität und für die zeitliche Schwankung der Zersetzungprozesse im Boden abzugeben. Doch ist dieser Indikator wieder nicht von absolutem Wert, weil eine zufällige Veränderung in der Permeabilität des Bodens, z. B. eine Verminderung infolge von Regenfällen, auch den Kohlensäuregehalt zu verändern, zu erhöhen vermag. Es geht aus der Beobachtung von Lewis und Cunningham in Calcutta hervor, daß, wenn die oberflächlichen Poren des Bodens während der Regenzeit durch Wasser verstopft waren, der Kohlensäuregehalt in den tieferen Bodenschichten schnell und bedeutend anstieg.

Doch wird die Schwankung in der Kohlensäurezunahme auch durch die zeitlichen Schwankungen in der Bodenfeuchtigkeit zweifellos schon darum beeinflußt werden, weil die Feuchtigkeit auf die Zersetzung der organischen Substanzen und damit auf die Kohlensäureproduktionen steigernd einwirkt. In den Fällen von Lewis und Cunningham konnte also die Kohlensäurezunahme zum Teil eine Folge der durch Feuchtigkeit erhöhten Bildung von Kohlensäure sein. Eine plötzliche und deutliche Steigerung der Bodenkohlensäure nach ergiebigem Regen ist auch auf der Tabelle von Fodor (vom 3. bis 10. Juli 1877) zu ersehen (a. a. O. Abt. I, Tafel I und II).

Der Kohlensäuregehalt der Grundluft zeigt aber auch in kürzeren Zeiträumen, von Tag zu Tag Schwankungen. Dies ist aus den Untersuchungen zu Budapest[20] ersichtlich, wo die aus 1 m Tiefe aspirierte Grundluft von einem Tag zum anderen häufig genug die zweifache Kohlensäuremenge enthielt, welche dann wieder auf das vorige Maß abfiel. Als Grund dieser Tagesschwankungen hatte Fodor in erster Reihe das Strömen und Wogen der Grundluft im Innern des Bodens in Anspruch genommen, worauf sofort zurückgekommen werden soll. Außerdem sind die Kohlensäureschwankungen in kurzen Zeiträumen abhängig vom Regen, welcher, wie soeben ausgeführt wurde, die Poren des Bodens verlegt und den Austausch der Grundluft mit der Atmosphäre behindert, dann vom Winde, welcher besonders die oberflächlichen Bodenschichten

auslüftet. Nicht so klar kann der Einfluß von Luftdruckschwankungen nachgewiesen werden, auf welche Vogt[21] in hygienischer Beziehung Gewicht legte, behauptend, daß die Grundluft bei fallendem Barometerstand vom Drucke der atmosphärischen Luft teilweise befreit wird, sich ausdehnt und an der Oberfläche austritt (Fodor).

4. Strömungen der Grundluft.

Es muß natürlich erscheinen, daß die Grundluft als gasförmiger Körper im Boden verhältnismäßig (mit dem Wasser verglichen) leicht beweglich ist. Alles, was eine Aenderung in den Gewichtsverhältnissen von Grundluft und Atmosphäre bewirkt, wird die erstere in einem durchlässigen Boden in Bewegung versetzen. Von diesen Strömungen nehmen das Eindringen in Häuser und das Austreten auf die Bodenoberfläche unser Interesse vor allem in Anspruch.

Schon Pettenkofer hat ausgeführt, daß die Häuser mit ihren in den Boden reichenden Fundamenten — besonders in der kalten Jahreszeit — wie Lockkamine wirken und die Grundluft ansaugen werden. Zur Illustrierung dieser Thatsache berief sich Pettenkofer auf die (in Augsburg und an anderen Orten vergekommenen) Vergiftungsfälle, in welchen aus den im Straßenboden geborstenen Gasröhren ausgeströmtes Leuchtgas durch den Boden in Nachbarhäuser eindrang und hier Todesfälle verursachte[22].

Solche Vergiftungsfälle sind in der Litteratur zahlreich verzeichnet[23]. Hierher gehört auch der Budapester Fall. Am 30. Januar 1884 geschah es, daß in einer breiten Vorstadtsgasse, in auf beiden Seiten einander gegenüberliegenden, nicht unterkellerten zwei ebenerdigen Häusern in mehreren Wohnungen 5 Menschen infolge von Lenchtgasvergiftung verstarben und 6 Personen schwer erkrankten; das Leuchtgas war aus den in der Straße 50 cm tief verlegten, in einer Entfernung von 4,75 und 7,0 m von den Häusern geborstenen Rohre ausgeströmt und in die Wohnungen eingedrungen. Zu Breslau war im strengen Winter 1879—80 binnen 6 Wochen Leuchtgas von der Straße in 10 Wohnungen eingedrungen, zumeist in Häuser, welche selbst nicht einmal Gasleitungen hatten. In einem Fall befand sich das Loch im Straßenrohr auf 27 m von dem Hause, in welches das Gas eingedrungen war (Biefel und Poleck).

Forster hat nachgewiesen, daß die aus gärendem Most entwickelte Kohlensäure sich aus dem Keller in die oberen Stockwerke des Hauses verbreitete, und hat hieraus auch ein ähnliches Aufsteigen der Grundluft gefolgert[24]. Renk[25] hat mittelst eines Recknagel'schen Differentialmanometers nachgewiesen, daß der Luftdruck im Innern des Bodens und in dem darüber gelegenen Keller verschieden ist, und hieraus gefolgert, daß die Grundluft im Winter, unter dem Druck der kälteren Außenluft, thatsächlich in den Keller eingedrungen war. Direkte Untersuchungen hat diesbezüglich Fodor[26] angestellt. In einem leer stehenden Souterrainzimmer des hygienischen Institutes zu Budapest wurde der Kohlensäuregehalt der Luft unmittelbar über dem Fußboden ein Jahr hindurch täglich (in der Nacht und am Tage) bestimmt; derselbe war konstant größer als im Freien und zeigte besonders im Herbst zeitweilig eine ganz besondere Er-

höhung, was Fodor auf das Eindringen von Grundluft in die Souterrainlokalitäten zurückführte (s. unten). Nach alledem kann für sicher bewiesen gehalten werden, daß die Grundluft in Gebäude eindringt, und daß dieses Eindringen im Herbst und Winter im größten Maße stattfindet, zu welcher Zeit einerseits der Boden durchlässig (trockener), andererseits die atmosphärische Luft kälter, also auch schwerer ist als die Luft in den Häusern, mithin die Grundluft in die Wohnungen drängen wird.

Die eingedrungene Grundluft vermag, wenn sie eventuell sehr reich an Kohlensäure und sehr sauerstoffarm ist, in Häusern und Kellern eine arge Luftverderbnis zu verursachen, welche selbst zu Todesfällen führen kann. So ist in Budapest am 7. September 1885 ein Zimmermaler beim Betreten eines seit drei Jahren verschlossenen leeren Kellers besinnungslos zusammengestürzt; er wurde herausgetragen und kam zwar zu sich, verstarb aber anderen Tags im Krankenhause. Die Asphyxie war offenbar durch Ansammlung von Grundluft im Keller verursacht. In der Litteratur finden sich noch viele Fälle verzeichnet, in denen Menschen in Kellern, Gruben oder Brunnen asphyktisch wurden und sogar starben[27]. Am erschütterndsten ist der folgende von Fodor beobachtete und beschriebene Fall[28]: In der Vorstadt Steinbruch von Budapest wurde auf einer Schweinemastanlage ein mit Erde und überdies mit einer Steinplatte bedeckter Brunnen, nachdem er 2 Jahre lang verschlossen war, aufgedeckt. Ein Arbeiter wollte mittelst Leiter einsteigen (am 30. März 1885). Sobald sein Kopf unter dem Rand des Brunnenkranzes verschwand, fiel der Mann ohne einen Laut von der Leiter und stürzte ins Wasser hinab. Dasselbe widerfuhr 3 anderen Arbeitern und der jungen Frau des einen, die zur Rettung der Verunglückten einstiegen. Ein sechster Arbeiter verdankte seine Rettung nur der Vorsicht, daß er an einem Rettungsseil hinabgelassen wurde. Auch er fiel ohnmächtig von der Leiter, wurde aber sofort hinaufgezogen und kam zu sich. Die übrigen konnten nur als Leichen herausgezogen werden. Der Brunnen war 8 m tief und hatte einen Durchmesser von 4 m; die Wände waren mit porösen Steinquadern ausgemauert. Fodor hat 57 Tage nach dem Unfall die Luft in dem während dieser Zeit verschlossen gehaltenen Brunnen untersucht; sie enthielt weder Kohlenwasserstoff noch Schwefelwasserstoff oder Kohlenoxyd, aber sehr viel Kohlensäure, nämlich 2 m unter der Mündung 13,0 und näher zum Wasserspiegel (5,6 m) 13,8 Proz. Das Wasser des Brunnens enthielt im Liter 148,2 ccm CO_2, hätte aber mit Rücksicht auf die Temperatur 163 ccm freie Kohlensäure enthalten, also Kohlensäure noch absorbieren können. Die Kohlensäure stammte folglich nicht aus dem Wasser. Das den Brunnen umgebende Erdreich war im höchsten Grade verunreinigt; die Grundluft enthielt auf 1 m vom Brunnen in 4 m Tiefe 72 Promille Kohlensäure.

Daß die Grundluft im Innern des Bodens und gegen die Bodenoberfläche strömt, geht auch aus weiteren Untersuchungen von Fodor[29] und Smolensky[30] hervor, bei welchen Kohlenoxydgas in den Boden eingeblasen wurde.

Dieses Austreten von Grundluft an die Bodenoberfläche hat Fodor schon früher in Klausenburg und dann in Budapest[31] durch Vergleichung des Kohlensäuregehaltes der unmittelbar am Boden aufliegenden und der höheren Luftschichten direkt nachgewiesen. Es war

z. B. im Jahre 1878 zu Budapest $^1/_2$ bis 1 cm über dem Bodenniveau und in $2^1/_2$ m Höhe der Kohlensäuregehalt der Luft in Vol. pro mille:

	Bodenniveau	Höhe
Januar	0.303	0,372
Februar	0,337	0,364
März	0,369	0,356
April	0.385	0.334
Mai	0,522	0,388
Juni	0.377	0.340
Juli	0,423	0.352
August	0.669	0,387
September	0,545	0.405
Oktober	0,443	0.415
November	0,391	0,382
Dezember	—	0,384

Das heißt: im Winter enthält die Luft am Bodenniveau relativ weniger Kohlensäure als in der Höhe, im Mai bis Oktober hingegen beträchtlich mehr als in den oberen Luftschichten. Diese Erscheinung könnte vielleicht einfach aus der Diffusion der im Boden enthaltenen Kohlensäure resp. aus der an der Oberfläche vor sich gehenden Zersetzung und Kohlensäureproduktion abgeleitet werden; doch hat Fodor des weiteren nachgewiesen, daß dieser Kohlensäuregehalt am Bodenniveau von Tag zu Tag fortwährend und bedeutend, insbesondere im Herbst schwankt, und namentlich daß derselbe auch am Tage und in der Nacht verschieden, in der Regel während der Nacht größer ist als am Tage. Dieses Verhalten und die Schwankungen des Kohlensäuregehaltes am Bodenniveau konnten nun nicht mehr einfach auf Schwankungen der Diffusions- und Zersetzungsprozesse am Bodenniveau zurückgeführt werden, und sind nur dadurch erklärbar, daß die Grundluft zeitweilig, besonders im Herbst und des Nachts, im Boden Strömungen unterworfen ist und dabei auch an die Bodenoberfläche austritt.

Die Nebel, welche besonders im Herbst und bei Sonnenuntergang die über dem Boden gelagerten, sich abkühlenden Luftschichten erfüllen, führt Fodor auf Grund des Gesagten zu gutem Teil auf das Austreten von warmer feuchter Grundluft zurück[32].

Wolffhügel[33] hat in München den Kohlensäuregehalt der Luft am Bodenniveau und in höheren Schichten gleichfalls verglichen, aber an ersterem Ort einen höheren Gehalt nicht gefunden, was offenbar darauf zurückzuführen ist, daß die Münchener Grundluft überhaupt wenig Kohlensäure enthielt und daher die Bodenniveauluft nicht in nachweisbarem Maße verunreinigen konnte. Doch fielen die Untersuchungen von Wolffhügel auch in eine Jahreszeit, nämlich vom 2. Dezember 1874 bis Ende Juli 1875, in welcher auch zu Budapest das Austreten von Grundluft (vermehrte Kohlensäure am Bodenniveau) sich viel geringer zeigte als im Herbst.

Ursachen der Grundluftbewegungen.

Die wichtigsten Ursachen von Grundluftbewegungen sind Temperaturdifferenzen zwischen den einzelnen Luftschichten. Wenn die atmosphärische Luft kalt, der Boden aber und mit ihm die Grundluft warm ist, wird erstere vermöge ihres größeren Gewichtes an einzelnen Stellen in den Boden eindringen, und die Grundluft wird an anderen Stellen ausströmen. Wenn aber Boden und Grundluft kälter

sind als die Atmosphäre, wird die Grundluft vermöge ihres größeren Gewichtes im Boden verharren und nicht ausströmen.

Demnach muß die Tendenz der Grundluft, auszuströmen, im Herbst, wenn der Boden durchwärmt und infolge der Austrocknung am durchlässigsten ist, am größten, dagegen im Frühjahr am geringsten sein. Desgleichen wird am Abend, wenn die äußere Luft sich rasch abkühlt, der Boden aber noch warm ist, die Grundluft in die Atmosphäre austreten, des Morgens aber nicht. Aus ähnlichen Ursachen sind auch die gegen Häuser gerichteten Grundluftströme im Herbst und Winter am lebhaftesten, weil dann die Häuser geheizt werden, und die Luft in denselben künstlich verdünnt wird.

Die Grundluftströmungen werden — wie oben bereits erwähnt — auch vom Winddruck beeinflußt, welcher an einer Stelle Luft in den Boden einpreßt, wofür an anderen Stellen Grundluft ausströmt, — ferner durch Meteorwässer, welche beim Eindringen in den Boden von hier ein gleiches Volumen Grundluft an anderen Orten zum Austritt bringen, — und endlich in geringem Maße auch durch Barometerschwankungen, da bei abnehmendem Luftdruck am Bodenniveau etwas mehr Kohlensäure gefunden wurde als bei steigendem Barometerstand (Fodor).

1) **F. Renk**, *Z. f. Biol.* 15. *Bd.*
2) *Beitr. z. Hyg.*, *Leipzig* (1879).
3) *Erster Bericht über die Arbeiten der k. k. landw. chem. Versuchsstat.*, *Wien* (1870/71).
4) **F. Renk**, *Z. f. Biol.* 15. *Bd.* — **G. Amon**, *Forsch. auf d. Geb. d. Agrik.-Phys.* 3. *Bd.* — **H. Fleck**, *VIII.—IX. Jahresb. d. chem. Centralstelle*, *Dresden.* — **J. Soyka**, *Forsch. auf d. Geb. d. Agrik.-Phys.* 4. 7. *Bd.* — **D. Welitschkowsky**, *Arch. f. Hyg.* 2. *Bd. u. a.*
5) *Mém. sur la composition de l'air confiné dans la terre végétale*, *Ann. de chim. et de phys.*, *III. Sér. t.* 37 *p.* 1—50. — *Vgl.* **Fodor**, *Hyg. Unters. Abt. II* 99.
6) *Sitzber. d. Kön. bayr. Akad. d. Wiss. zu München* (1870) 2. *Bd.* 394. — *Ztschr. f. Biol.* 7. *Bd.* 395.
7) *II. Jahresber. d. chem. Centralstelle in Dresden* (1873) 18; *dann III. Jahresber.* (1874) 7; *ferner IV. u. V. Jahresber.*
8) *V. f. öff. Ges.* 7. *Bd.* 205; *ferner Allg. med. Centr.-Ztg.* (1875) *No.* 66.
9) *Sixth Report of the Massachusetts State Board of Health*; *ferner Rep. of the Sewerage-Commission*, *Boston* (1876), *ref. V. f. öff. Ges.* 8. *Bd.* 695.
10) *Ref. V. f. öff. Ges* 8. *Bd.* 691.
11) *Mitteil. d. k. k. forstl. Versuchsstat. f. Oesterr.* 2. *Bd.*
12) *Ztschr. f. Biol.* 13. *Bd.*
13) *Daselbst* 15. *Bd.*
14) *Versammlg. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Salzburg*, *Tageblatt* 193.
15) *Z. f. Biol.* 9. 11. *Bd.*
16) *Pflüger's Arch.* (1875) 118.
17) *Hyg. Unters. üb. Luft, Boden u. Wasser*, *II. Abt.* 106—111 *u. ff.*
18) *Hyg. Unters. u. Luft, Boden u. Wasser*, *II. Abt.* 124.
29) **Fodor**, *Op. cit.*, *Tafel II*, *Kurvengruppe* 1—4.
20) **Fodor**, *Daselbst Abt. I*, *Tafel I*, *Kurve* 3.
21) **Ad. Vogt**, *Trinkwasser und Bodengase*, *Basel* (1874).
22) *Die Beziehungen der Luft zur Kleidung, Wohnung u. Boden*, *Braunschweig* (1872).
23) **R. Cobelli**, *Z. f. Biol.* 12. *Bd.* — **Hofmann**, *Wien. med. Presse* (1879). — **Biefel u. Poleck**, *Z. f. Biol.* 16. *Bd.* — **Layet**, *Rev. d'hyg.* (1880) *u. A.*
24) *Z. f. Biol.* 11. *Bd.* 392.
25) *Tageblatt d.* 54. *Versammlg. deutscher Naturforscher etc. zu Salzburg.*
26) *Hyg. Unters. üb. Luft, Boden u. Wasser*, *I. Abt.* 64.
27) *S. Annales d'hyg. publ.* (1884) *Maiheft.*
28) *Orvosi Hetilap* (1885.) [*Ungarisch.*]
29) *V. f. öff. Ges.* (1875) 228.
30) *A. a. O.*
31) *Hyg. Unters. üb Luft, Boden und Wasser*, *I. Abt.*
32) *Vgl. auch* **Soyka**, *Boden*, 114.
33) *Z. f. Biol.* (1879) 102.

FÜNFTES KAPITEL.

Die organischen Substanzen im Boden.

Bronner, ein Apotheker, hat vor einem halben Jahrhundert folgenden Versuch beschrieben: „Man füllt eine Bouteille, die in ihrem Boden ein kleines Loch hat, mit feinem Flußsande oder halbtrockener, gesiebter Gartenerde an. In diese Bouteille gießt man allmählich so lange dicken und ganz stinkenden Mistpfuhl, bis die ganze Masse durchdrungen ist; die aus der unteren Oeffnung hervorkommende Flüssigkeit wird fast geruchlos und farblos erscheinen und die Eigenschaft des Pfuhls gänzlich verloren haben“ [1].

Uebrigens hat Gazzeri bereits vor Bronner im Jahre 1819 auf die Entfärbung von Mistjauche durch Erde aufmerksam gemacht [2].

Alsobald erregten diese Absorptionserscheinungen eingehendes Interesse bei Agrikulturchemikern, wie Thomson, Huxtable, Völcker, Liebig, Way [3] u. a., welche hierin den Schlüssel zur Erklärung der Befruchtung des Bodens erkannten.

Nicht viel später wurde aber das Verhalten von Abfallstoffen im Boden auch für hygienische Zwecke in Untersuchung gezogen, namentlich von Frankland [4], Helm und Lissauer [5], Schloessing [6], Falk [7], Fodor [8], Hofmann [9], Soyka [10], Wolffhügel [11] und vielen anderen. Anregung zu diesen Untersuchungen gab schon von vornherein der Umstand, daß die Hygiene sich diejenigen Stoffe, welche an gewissen Orten und zu gewissen Zeiten Krankheiten verursachen oder fördern, nur als organische Stoffe vorstellen konnte. Insbesondere richtete sich die Aufmerksamkeit der Hygieniker auf die Zersetzungsvorgänge der organischen Verunreinigungen im Boden, weil die Ursachen der Krankheiten, namentlich der infektiösen, in richtiger Folgerung als in nahen Beziehungen zu jenen Prozessen stehend gedacht wurden.

Die einschlägigen Studien lieferten bisher wertvolle Aufschlüsse über Ursprung und Grad der Bodenverunreinigung, sowie über das Schicksal, welchem diese Verunreinigung im Innern des Bodens verfällt und erstreckten sich auch auf das Verhältnis der Bodenverunreinigung zu den Krankheiten. Trotzdem sind unsere diesbezüglichen Kenntnisse

— wie aus dem Folgenden hervorgeht — noch immer sehr primitiv, was wohl zum Teil der Neuheit solcher Untersuchungen, aber gewiß auch dem Umstand zugeschrieben werden muß, daß Untersuchungen derart mit grossen experimentellen Schwierigkeiten zu kämpfen haben, daher vereinzelt und fragmentarisch sind.

Die Fortschritte der Bakteriologie, namentlich ihre vervollkommneten Methoden, kommen den Studien über die hygienische Bedeutung von Verunreinigung und Zersetzungsprozessen im Boden sehr zu statten und erleichtern insbesondere die Erforschung des Verhältnisses, in welchem der Boden, dessen Verunreinigung, Zersetzungsprozesse und Mikroorganismen zu den infektiösen und epidemischen Krankheiten stehen*).

1. Quellen der Bodenverunreinigung.

Die Quellen der den Boden verunreinigenden organischen Substanzen sind zahllos: Pflanzen, deren abgefallene Blätter, Blüten, Früchte, gestürzte Stämme und abgestorbene Wurzeln; Tiere, die auf und in dem Boden leben, ihre Entleerungen und Leichen; der Mensch mit seinen Exkrementen, Haushalts- und Industrieabfällen, und schließlich seinem Leichnam: alle tragen sie zur Verunreinigung des Bodens mit flüssigen oder festen und zerstäubbaren Abfallstoffen bei.

Am reichlichsten wird die Bodenverunreinigung zweifellos durch die Exkremente und Hausabfälle des Menschen genährt, weshalb auch der Boden an den Sammelorten der menschlichen Gesellschaft, in Städten der Verunreinigung am meisten ausgesetzt ist. Es ist hier nicht der Ort, die bodenverunreinigende Wirkung von Aborten, Abzugskanälen und anderen Einrichtungen im Detail zu beleuchten, weshalb auf die aus durchlässigen Abortgruben und Sielen austretenden Fäkalien und die hierdurch verursachte Bodenverunreinigungnur kurz verwiesen werden soll.

Pettenkofer hat schon vor langem konstatiert, daß aus den Münchener Abtrittgruben kaum $^1/_{10}$ der hineingelangten Fäkalien abgeführt werden, und bekanntlich giebt es Gruben, die seit Menschengedenken nicht geleert wurden, weil ihr Inhalt in den Boden versickert. Wie kolossal diese Massen sind, wird klar, wenn man bedenkt, daß ein Mensch täglich im Mittel $1^1/_2$ kg Harn und Faeces, im Jahre also wenigstens 5 Metercentner Fäkalien entleert. Die Küchenabwässer und -abfälle, resp. die in diesen enthaltenen organischen Substanzen werden von Agrikulturchemikern beiläufig auf die nämliche Menge geschätzt, sodaß jeder Einwohner aus Körper und Haushalt jährlich 10 Metercentner fäulnisfähige Abfallstoffe, in mehr oder weniger Hauswasser verteilt, auf resp. in den Boden gelangen läßt. Demgegenüber ist die durch Leichen verursachte Bodenverunreinigung fürwahr gering, denn zu 5 oder 10 Metercentnern fäulnisfähiger Leichenstoffe bedarf es jährlich nicht eines, sondern 300, resp. 600 Einwohner.

In neuerer Zeit sind die in manchen Gewerbeanlagen sich ergebenden Abfälle zu außerordentlicher Wichtigkeit gelangt, weil sie gewöhnlich auf beschränkten Gebieten sich in großen Massen anhäufen und in Zersetzung übergehen. Außerordentliche Bodenverunreinigungen

---

*) Siehe hierüber Kap. VI. u. VII

können in Städten auch durch Kehrichtablagerungsstellen und Aasplätze verursacht werden, welche dem verdammenden Urteil der modernen Hygiene noch immer nicht weichen wollen.

Von dem Grad der Bodenverunreinigung in Städten liefern Fodor's Untersuchungen einen Begriff; aus zahlreichen in den links der Donau gelegenen Stadtteilen von Budapest ausgeführten Bohrungen und Bodenanalysen erhielt er als Mittel für die Tiefen von 1—4 m pro kg Erde 311 mg stickstoffhaltige und 4130 mg kohlenstoffhaltige organische Substanz, was nur für diese Stadtteile und bis zu 4 m Tiefe berechnet, 467 Millionen kg organischen Abfallstoffen im Boden entsprechen würde (s. weiter unten S. 129).

2. Verhalten der organischen Abfallstoffe zum Boden.

Feste Abfallstoffe gelangen gewöhnlich auf die Oberfläche des Bodens, wo sie aufgehalten werden und — wenn nicht entfernt — je nach ihrer Beschaffenheit rascher oder langsamer zerfallen, zerstäuben, sich mit dem Erdreich vermengen und dieses verunreinigen. Dick- oder dünnflüssige Stoffe hingegen dringen mehr oder minder tief in den Boden ein, verschwinden in der Regel binnen kurzem von der Oberfläche und werden nicht weiter bemerkt. Aber gerade diese Abfallstoffe sind es, deren Verhalten im Boden uns besonders interessiert.

Aus verunreinigten Flüssigkeiten, die auf die Bodenoberfläche gelangen, wird der Boden gleichsam wie ein Sieb zunächst die suspendierten Teile abfiltrieren; diese Filtrierkraft des Bodens ist aber so stark und die Zurückhaltung der suspendierten Stoffe erfolgt so vollständig, daß dieselbe, obschon der Boden für dichter als das dichteste Sieb gehalten werden darf, nicht in einfach mechanischer Filtration bestehen kann, um so weniger, als nicht bloß suspendierte Teilchen, sondern — wie aus dem Bronner'schen Versuch ersichtlich war — auch gelöste Stoffe und Zersetzungsprodukte zurückgehalten werden. Wir wollen diese letzteren Vorgänge näher betrachten.

Der Boden wird zunächst vermöge seiner Kapillarkräfte die an organischen Substanzen reichen Flüssigkeiten in seinen Hohlräumen geradeso zurückhalten, wie das Wasser, und nur diejenige Flüssigkeitsmenge, welche die wasserbindende Kraft des Bodens übersteigt, wird als überschüssig tiefer in den Boden eindringen.

Die auf diese Weise im Boden vordringende Flüssigkeit wird aber auch gereinigt, da aus derselben nicht nur suspendierte, sondern auch gelöste Stoffe zurückgehalten werden.

Diese **Bindekraft des Bodens** für gelöste organische — und auch anorganische — Substanzen kann als Vorlesungsversuch sehr gut und beiläufig in der Weise demonstriert werden, wie die oben citierten Forscher die absorbierenden Eigenschaften des Bodens studiert haben:

Man bringt den zu untersuchenden Boden (Sand, Lehm, Humus) in Glasröhren von 0,5—1 m Länge und 2—3 cm Durchmesser und gießt Lösungen von organischen Substanzen und Salzen in kleinen Anteilen auf. So wird z. B. durch kleine Mengen aufgegossener Fuchsinlösung nur eine 1—2 cm starke obere Bodenschicht gefärbt, unterhalb welcher der Boden ungefärbt bleibt; das Filtrat läuft farblos ab. Bei wiederholtem und längerem Aufgießen dringt die Färbung immer

mehr in die Tiefe und zwar rascher, wenn man schnell hintereinander und reichlich aufgießt. Auch von Tabaksaufguß wird nur die Oberfläche gefärbt und das Filtrat ist auch hier ganz farb- und geruchlos, auch, Mäusen injiziert, ohne Wirkung; allmählich (auch hier besonders bei rasch folgendem Aufgießen) wird die Verunreinigung in die Tiefe vordringen und endlich das Filtrat der Farbe, dem Geruch und der Giftwirkung nach dem aufgegossenen Auszug gleichen. Ein Bodenfiltrat von Amygdalin wird frische Emulsinlösung nicht zersetzen (nach Falck soll dies geschehen, doch war offenbar die Filtration zu rasch); aber aus den oberflächlichen Schichten entnommene Bodenproben zeigen durch das zurückgehaltene Amygdalin eine entsprechende Wirkung auf Emulsin. Auch Strychnin bleibt an der Oberfläche*). Von diluiertem Speichel träufelt reines Wasser ab, welches auf Stärke ohne Wirkung ist. Das Filtrat von Stärkelösungen giebt keine Reaktion mit Jod; diese wird aber erhalten, wenn man die Versuchsröhre in mehrere Teile zerschneidet und den Boden aus jedem Rohrstück mit Wasser ausschüttelt. Die Jodprobe fällt mit dem Extrakt des obersten Teiles der Röhre sehr stark aus, mit den übrigen Rohrstücken in einer nach unten abnehmenden Intensität. Eine schwache Lösung von kohlensaurem Ammoniak hat nach dem Durchfiltrieren keinen Ammoniakgeruch und giebt mit Nessler'scher Lösung nur schwache Reaktion. Aehnliche Versuche kann man auch mit verdünntem Blut, Harn, Küchenabwasser, verschiedenen Alkaloiden, fauligen Flüssigkeiten etc. anstellen, doch werden dieselben, wie angegeben wurde, nur dann gelingen, wenn langsam aufgegossen wird, da bei rascher Filtration auch die gelösten Stoffe leichter durchdringen. Dies ist auch dann der Fall, wenn die aufgegossenen Lösungen mehr konzentriert waren.

Doch schließlich werden auch die verdünnten Lösungen den Boden allmählich durchdringen und dessen Bindekraft mit der Zeit erschöpfen. Der Boden besitzt also eine bedeutende Bindekraft für verschiedene gelöste, sowohl organische als anorganische Sustanzen, welche aber von der Strömungsgeschwindigkeit, der Konzentration und Menge der aufgegossenen Flüssigkeit, dann aber auch von der Natur der aufgegossenen Substanz und der Beschaffenheit des Bodens abhängig ist.

Bezüglich der letzteren haben Agrikulturchemiker schon vor längerem nachgewiesen, daß der Boden z. B. Ammoniak, Kali, Magnesia, Phosphorsäure, dann besonders die gelösten, eiweißhaltigen organischen Substanzen etc. gut, hingegen z. B. Natron, Kalk, Chlor, salpetrige und Salpetersäure wie auch z. B. Fette und Oele, Leim viel weniger leicht zu binden vermag [12].

Andererseits werden aber an Stelle der abgeschiedenen Stoffe im verunreinigten Boden andere mobilisiert. So wird z. B. die in einem verunreinigten Boden sich entwickelnde Kohlensäure Kalk- und Magnesiakarbonate, welche in reinem Boden aus Mangel an Kohlensäure ungelöst geblieben wären, in Lösung überführen. Dies ist durch Analysen von Brunnenwassern klar bewiesen; aus reinem Boden stammen-

*) Dieser Versuch wird falsch gedeutet, weil die Lösungen von salz- oder salpetersaurem Strychnin durch den Boden zersetzt werden, und das in Wasser unlösliche Strychnin zwischen den Erdepartikeln nadelförmig auskrystallisiert, also mechanisch zurückgehalten wird, was mit einer Lupe recht gut wahrzunehmen ist.

des Wasser enthält wenig Kalk- und Magnesiakarbonat, aus verunreinigtem Boden geschöpftes hingegen sehr viel.

Die besprochenen Verhältnisse werden auch durch die folgenden Versuchsergebnisse von Frankland illustriert. In 1 l Sielwasser waren enthalten Milligramme:

	Gelöste Substanz	Organ. Kohlenstoff	Organ. Stickstoff	Ammoniak	Stickstoff in Nitraten u. Nitriten
Vor der Filtration	645	43,86	24,84	55,57	0
Nach der Filtration durch eine 15' starke Sandschicht	785	10,33	3,30	6,21	35,12
Nach der Filtration durch eine 15' starke Schicht von Sand u. Kreide	968	7,26	1,13	0,35	38,14

Das heißt: der Boden hatte die organischen Substanzen, insbesondere die stickstoffhaltigen, und das Ammoniak absorbiert. Trotzdem war die Sumne der gelösten Substanz im Filtrat vermehrt, was neben den Nitraten durch eine Zunahme der Karbonate verursacht sein konnte.

Aus dem Gesagten muß man folgern, daß offenbar auch der Städteboden die hineingelangenden Abfallstoffe, namentlich die eiweißartigen Substanzen der Exkremente und deren Spaltungsprodukte, insbesondere das Ammoniak binden wird, hingegen z. B. Chloride, Nitrate und Nitrite durchläßt, woraus verständlich wird, weshalb das durch den verunreinigten Städteboden filtrierte Wasser besonders Nitrate, Nitrite, Chloride, Kalk- und Magnesiakarbonate, dagegen in viel geringerem Grade organische Substanzen und Ammoniak aufnimmt; denn solange der Boden nicht über seine Absorptionskraft hinaus saturiert ist läßt er diese Verbindungen nicht in die Tiefe gelangen. Eine detailliertere Erörterung gehört ins Kapitel Trinkwasser.

Gleich den suspendierten und gelösten Substanzen werden auch Bakterien in den oberflächlichen Bodenschichten zurückgehalten, worauf wir im nächsten Kapitel zurückkommen wollen.

Die Bodenart, d. h. der Zustand und die Qualität des Bodens sind auf die Abscheidung und Zurückhaltung der organischen Substanzen gleichfalls von Einfluß. So wird z. B. ein feinkörniger Boden nicht nur wirksamer filtrieren als ein grobkörniger, sondern auch gelöste Stoffe (und Bakterien) besser zurückhalten.

Insbesondere wird aber die Bindekraft des Bodens durch dessen Gehalt an feinen Humussubstanzen erhöht, während der reine Mineralboden viel weniger zu binden im Stande ist, wie dies schon Bronner konstatiert hat.

Es scheint, daß auch der chemische Charakter des Bodens auf die Bindung organischer Substanzen von Einfluß ist; so erwies sich in Frankland's oben skizzierten Versuchen der kreidehaltige Boden absorptionstüchtiger, als der reine Sandboden.

Dieses Abscheidungs- und Bindevermögen des Bodens für organische Substanzen wird in erster Reihe physikalischen Wirkungen, der Attraktion der großen Oberfläche zugeschrieben. Bereits oben wurde auf die bei Versuchen mit Strychnin beobachteten, durch chemische Kräfte hervorgerufenen Erscheinungen verwiesen, welche die Zurückhaltung gewisser Substanzen im Boden in sehr einfache Prozesse verwandeln. Ebenso ist es möglich, daß z. B. Alkaloide und

Ammoniak durch Humussäuren, oder in einem an kohlensauren Erden reichen Boden organische und andere Säuren (Phosphorsäure), endlich Schwefelwasserstoff durch Eisen, Kalk gebunden werden. Dem kann noch zugefügt werden, daß die Bindekraft des Bodens auch durch dessen Bakteriengehalt erhöht wird, da dieselbe in einem sterilisierten Boden viel geringer ist als vor der Sterilisation (Falck, Fodor). Das mag aber hauptsächlich davon herrühren, daß im sterilisierten Boden die aufgegossenen organischen Stoffe einer Zersetzung erst später und allmählich anheimfallen, während im unsterilisierten Boden die durchdringenden organischen Substanzen gleich von Anfang an kräftig zersetzt und mineralisiert werden (s. Kap. VI).

Wir dürfen aber nicht vergessen, daß dieses Bindevermögen des Bodens für Abfallstoffe nicht ein absolutes ist, und daß ein geringer Bruchteil sowohl der organischen als der anorganischen Verunreinigung auch dann durchgelassen wird, wenn der Boden damit noch nicht saturiert ist, wobei auch die Menge derselben keine übermäßige zu sein braucht. Es wird also ein Teil der aufgegossenen organischen Substanz (am wenigsten von Ammoniak) selbst einen reinen Boden von gutem Bindevermögen passieren und im Grundwasser dieses reinen Bodens in geringen Mengen auftreten können.

Als Folge des Bindevermögens wird der Boden an jener Stelle am stärksten verunreinigt sein, an der die Abfallstoffe hineingelangt sind, also in erster Reihe an der Oberfläche, aber auch unter der Sohle von durchlässigen Sielen und Abtrittgruben. Schlösing fand im Boden der Rieselfelder zu Gennevilliers [13] auf den Kilo Erde folgende Mengen von organischem Kohlenstoff und Stickstoff in Milligrammen:

	Lehmboden		Kiesboden	
	C	N	C	N
an der Oberfläche	22,0	2,3	16,3	1,5
in 0,5 m Tiefe	8,3	1,1	3,2	0,35
„ 1,0 „ „	6,1	1,0	—	—
„ 1,5 „ „	—	—	0,4	0,06

Der von Schwemmkanälen durchzogene und mit Abtrittgruben besetzte Städteboden wird also offenbar nicht bloß an der Oberfläche verunreinigt sein.

Der Budapester Boden enthielt im Mittel aus mehreren Hundert Bohrungen und Analysen auf 1 kg Erde Milligramme N und C (Fodor):

	Org. N	Org. C
in 1 m Tiefe	403	4670
„ 2 „ „	321	4810
„ 4 „ „	210	2900

Fodor hat ferner mehrere Meter tief im Boden, unter der Sohle von alten Sielen im Kilo Erde mehr organischen C und N nachgewiesen, als in 1 kg frischer gemischter menschlicher Exkremente (Faeces und Harngemisch) enthalten sind (12,36 g org. N).

Aus dem geschilderten Bindevermögen des Bodens folgt ferner, daß, wenn man in tieferen Bodenschichten (oder z. B. im Brunnenwasser) die Bestandteile oder Spaltungsprodukte der Fäkalien in größeren Mengen antrifft, gefolgert werden kann, daß die oberen Bodenschichten bereits über die Grenzen ihres Bindevermögens hinaus mit Abfallstoffen

gesättigt, oder daß diese in der Tiefe, nahe zum Wasser, z. B. aus tiefen Abtrittgruben in den Boden gelangt sind.

Die Bindekraft macht es verständlich, daß die Abfallstoffe nur äußerst langsam im Boden vordringen und langsam in die tieferen Schichten hinabsinken. Dies wird schon durch die oben geschilderten Versuche klar bewiesen, aber durch folgende Versuche von Hofmann[14] am besten illustriert: Auf zwei Bodenproben, eine grob- und eine feinkörnige, wurden nach Durchfeuchten mit Wasser — wobei die erstere 182, die letztere 309 cm³ Wasser zurückgehalten hatte — je 504 mg Kochsalz in 50 cm³ Wasser aufgegossen. Sofort waren ca. 50 cm³ Wasser unten abgetropft. An den folgenden Tagen wurden täglich wieder je 50 cm³ Wasser aufgegossen. Ein jedesmal war etwa ebensoviel Flüssigkeit unten abgeflossen. Die täglich abgetropften Flüssigkeiten enthielten folgende Kochsalzmengen:

Aufgegossen:	Mg Kochsalz abgetropft vom grobkörnigen Boden:	Mg Kochsalz abgetropft vom feinkörnigen Boden:
1. Tag 50 cm³ Wasser enthaltend 504 mg Cl Na	0	0
2. Tag 50 cm³ Wasser	24	0
3. „ „ „ „	180	0
4. „ „ „ „	116	0
5. „ „ „ „	86	0
6. „ „ „ „	71	69
7. „ „ „ „	22	197
8. „ „ „ „	6	162
9. „ „ „ „	3	69
10. „ „ „ „	1	5
11. „ „ „ „	0	0

Man sieht also, daß die Verunreinigung im grobkörnigen Boden zwar verhältnismäßig rasch in die Tiefe sinkt (vorausgesetzt, daß sie nicht um vieles kräftiger zurückgehalten wird, als Kochsalz), daß aber im feinporösen Boden selbst Kochsalz nur sehr langsam, und zwar in toto abwärts dringt. Neu hinzugekommene Wasserschichten (Befeuchtung durch Regen) werden im Boden enthaltenes Wasser und Verunreinigungen etwas vor sich herdrängen und ein ihrem eigenen entsprechendes Volumen Wasser in den tieferen Bodenschichten deplacieren, selbst aber an der nämlichen Stelle verharren, bis auch sie durch neuere Regenmengen verdrängt werden. Außerdem wird in der Tiefe, im Grundwasser von einem Regenfall zum anderen nicht durch die ganze überlagernde Bodenschicht jetzt auf einmal durchgelaufenes Wasser anlangen, sondern es werden durch die neueren Wassermengen bloß die tieferen Wasserschichten mobilisiert und ins Grundwasser gedrängt, während das frische Regenwasser mit den gelösten Verunreinigungen oben bleibt, bis ein neuer Regen kommt und auch dieses Wasser und die von ihm aufgenommene Verunreinigung um eine Stufe tiefer hinabdrängt (vergl. S. 73).

Auf Grund dieser Versuche und der Regenverhältnisse von Leipzig hat Hofmann berechnet, daß die Kochsalzlösung im Leipziger Friedhofsboden während eines Jahres um 2,26 m in die Tiefe geschwemmt würde, und in einem anderen Boden, welcher das Wasser besser bindet, sogar bloß um 1,53 m. Wenn man bedenkt, daß organische Substanzen vom Boden viel kräftiger zurückgehalten werden als Kochsalz, so ist mit Sicherheit anzunehmen, daß jene noch langsamer in die Tiefe

filtrieren, als das Kochsalz in den geschilderten Versuchen, so daß die organischen Stoffe während dieser Zeit, unter günstigen Verhältnissen größtenteils zersetzt und mineralisiert werden können, ohne unverändert in die tieferen Bodenschichten oder ins Grundwasser zu gelangen.

3. Zersetzung der organischen Substanzen im Boden.

Nachdem die organischen Substanzen im Boden gebunden sind, folgt als wichtigste Erscheinung ihre Zersetzung im Boden.

Daß organische Substanzen im Boden zersetzt werden und über kurz und lang von hier verschwinden, ist allbekannt. Dünger, der dem Ackerboden beigemengt wurde, und Leichen, die man in die Erde begraben hat, werden hier in verhältnismäßig kurzer Zeit so vollständig zersetzt, daß außer den mineralischen Bestandteilen, den Knochen, kaum eine Spur übrig bleibt. Gerade so verhalten sich auch die anderen auf oder in den Boden gelangten organischen Substanzen. Es werden sich alsbald Zersetzungsvorgänge einstellen, welche die organischen Substanzen binnen kurzem mineralisiert zum Verschwinden bringen würden, gelangten nicht — wie gewöhnlich — fortwährend neue Verunreinigungen in den Boden.

Diese die organischen Substanzen umwandelnden Zersetzungsprozesse sind uns in den Hauptzügen als Verwesung (Oxydation) und Fäulnis (Reduktion) bekannt. Ihre hauptsächlichen Endprodukte sind für die kohlenstoffhaltigen Substanzen Kohlensäure, Wasser und eventuell — unter gewissen ungünstigen, fäulnisfördernden Umständen — Sumpfgas, — für die stickstoffhaltigen Substanzen aber Salpetersäure, salpetrige Säure, resp. bei fäulnisfördernden Umständen Ammoniak, eventuell Schwefelwasserstoff.

Weniger bekannt sind die Zwischenprodukte der Zersetzung im Boden, welchen offenbar auch eine wichtige hygienische Rolle zufallen kann. So ist es nicht ausgeschlossen, daß im Boden aus den organischen Abfällen Ptomaïne gebildet werden und, ins Grundwasser gelangt, schädliche Wirkungen hervorrufen können. Dehérain und Maquenne haben in künstlich verunreinigtem und in Fäulnis versetztem Boden Buttersäuregärung, und dabei Entwickelung von Stickoxydul und Stickstoff beobachtet [15]. Wollny hat gleichfalls gefunden, daß im faulenden Boden flüchtige Fettsäuren, ferner Indol, Skatol, Leucin, Tyrosin etc., also die nämlichen Verbindungen auftreten, welche bei der Fäulnis der Eiweißstoffe gebildet werden [16]. Auf diese Zersetzungserscheinungen und deren Produkte wollen wir noch weiter unten zurückkommen (s. bei den Bodenbakterien, Kap. VI).

Die Zersetzung der organischen Substanzen im Boden, deren Oxydation und Fäulnis wird durch folgende zwei Vorlesungsversuche sehr lehrreich veranschaulicht [17]:

Man fülle in zwei Glasröhren gleichartige Bodenproben und gieße verdünnten ($^1/_{10}$) frischen Harn so lange auf, bis beide Böden gleichmäßig durchtränkt sind und die überschüssige Flüssigkeit unten abtropft. Nun schließe man die eine Röhre (A) mit einem Kautschukstöpsel hermetisch ab, durch die andere (B) lasse man hingegen ununterbrochen befeuchtete Luft aspirieren. Nach 8—10 Tagen gieße man auf beide Proben 50—100 ccm destilliertes Wasser; es wird alsbald beinahe dieselbe Menge Flüssigkeit von den beiden Proben abtropfen. Bestimmt

man nun in diesen Filtraten die wichtigsten chemischen Bestandteile, so wird man finden, daß in dem vom Boden A abgeflossenen Wasser wenig oder kar keine Salpetersäure, aber sehr reichlich Ammoniak enthalten ist; hingegen fehlt das letztere in dem vom Boden B abgeflossenen Wasser, welches dafür die Reaktion auf Nitrate in deutlicher Weise zeigt.

In Bodenprobe B fand ein Oxydationsprozeß, in A hingegen Fäulnis statt.

Zweiter Vorlesungsversuch: Man fülle in zwei Glasröhren (A und B) je ca. 1 kg reinen Boden, gieße auf B täglich 10 ccm auf $^1/_{10}$ verdünnten, auf A hingegen ebenfalls 10 ccm, jedoch unverdünnten Harn auf. Von Probe B wird eine klare, geruchlose, von Probe A hingegen eine nach Ammoniak riechende, trübe Flüssigkeit abträufeln.

Die unten aufgefangenen Flüssigkeiten enthielten in 100 ccm Milligramme:

	Der aufgegossene Harn war unverdünnt A	auf $^1/_{10}$ verdünnt B
Organische Substanzen (mit Permanganatlösung bestimmt)	1740,0	17,2
Ammoniak	über 1000,0	1.75
Salpetersäure	0	92,0

Es hatte also wieder in Boden B eine Oxydation, in Boden A hingegen Fäulnis stattgefunden.

Faktoren der Zersetzung im Boden.

Die Zersetzung kann im Boden sowohl hinsichtlich ihrer Form (Oxydation, Fäulnis), als der Intensität nach verschieden sein.

Die Faktoren, durch welche diese Zersetzungsprozesse reguliert werden, sind in den geschilderten zwei Vorlesungsversuchen schon teilweise angedeutet. Wir wollen dieselben aber noch näher betrachten.

a) Einfluß der Bodenart.

Es ist schon vor langer Zeit beobachtet worden, daß Leichen je nach der Bodenart schneller oder langsamer in ganz verschiedene Produkte zerfallen. So schrieb schon Orfila[18], daß die Zersetzung in Humusboden rascher vor sich geht, als in Sandboden. Reinhard[19] fand in den Friedhöfen Sachsens, daß in Kiesboden Kinderleichen in 4, Erwachsene in 7 Jahren verwesen, während in kompaktem Lehmboden 5, resp. 9 Jahre nötig sind. Aehnliche Unterschiede in der Verwesungsdauer in verschiedenen Bodenarten fand Fleck[20] an versuchsweise begrabenen Kaninchenleichen; ferner haben Wollny, Möller, Fodor u. a. in Sandboden eine stärkere Kohlensäureproduktion, folglich eine raschere Zersetzung beobachtet, als in Lehmboden. Petersen[21] hat gefunden, daß der kalkhaltige Boden einer Zersetzung der organischen Substanzen (Kohlensäureproduktion) förderlicher ist, als der entkalkte, doch wurde diese Behauptung durch die Versuche Fodor's nicht bestätigt. Andererseits haben Frankland[22] und Fittbogen[23] die Nitrifikation in einem mit Kalikarbonat versehenen Boden am stärksten, in reinem kalklosen Quarzboden aber am schwächsten gefunden, während Prichard[24] für die Nitrifikation die Sulfate am

wirksamsten fand. Aus den Untersuchungen von Soyka ist ersichtlich, daß z. B. im Torfboden die Zersetzung sehr langsam vor sich geht, und nicht Salpetersäure, sondern Ammoniak produziert wird. Auch vom Eisenoxydhydratboden wird behauptet, daß derselbe die Zersetzung der organischen Substanzen sehr verzögert. Aus allen diesen Erfahrungen geht so viel hervor, daß die Bodenart auf die Zersetzung der organischen Substanzen jedenfalls von Einfluß ist; worin aber diese Verschiedenheit der Einwirkung besteht, ob in spezifischen chemischen Agentien, oder bloß darin, daß die einzelnen Bodenarten hinsichtlich der weiter unten erörterten physikalischen Eigenschaften oder des Bakteriengehalts verschieden sind, ist bisher nicht mit erwünschter Klarheit festgestellt. Daß sterilisierte, also bakterienfrei gemachte Böden verschiedene organische Stoffe unzersetzt passieren lassen, wurde weiter oben (S. 122) bemerkt.

b) Einfluß der Durchlüftung des Bodens.

Aus den soeben erwähnten Erfahrungen über die Wirkung des Kies-, Sand- und Lehmbodens auf die Zersetzungsdauer ist zunächst ersichtlich, daß die Schnelligkeit der Zersetzung insofern durch die Bodenart beeinflußt wird, als es von dieser abhängt, ob der Boden leicht (Kies) oder schwer (Lehm) durchlüftet wird. Die Versuche von Fodor und Soyka liefern direkte Beweise für die positive Beschleunigung der Zersetzung durch'Lufbewegungen, da die im verunreinigten Boden gebildeten Mengen Kohlensäure resp. Salpetersäure mit der während der Versuche durch den Boden geleiteten Luftmenge annähernd parallel anstiegen oder abfielen.

Schönbein und dann Soyka waren der Ansicht, daß im durchlässigen Boden auch das Ozon der Luft an der Beschleunigung der Zersetzungsvorgänge beteiligt ist, doch hat einerseits Wolffhügel nachgewiesen, daß die Grundluft überhaupt kein Ozon enthält, andererseits konnte Falk eine beschleunigende Wirkung ozonhaltiger Luft auf die Zersetzung nicht konstatieren.

Hieraus folgt, daß die Zersetzung der organischen Substanzen an der reichlich durchlüfteten Bodenoberfläche und in den dieser nahe gelegenen Schichten am raschesten, ferner im durchlässigeren Boden rascher verläuft, als im minder durchlässigen. Daß die organischen Substanzen im permeableren Boden rascher oxydiert werden, wird wohl nicht lediglich chemische, sondern vielmehr biologische Ursachen haben, welche wir bei den Bodenbakterien erörtern wollen. Hier soll nur noch erwähnt sein, daß in einem schlecht ventilierten Boden eine rasche Zersetzung der organischen Substanzen auch durch die angehäufte Kohlensäure behindert werden mag, da diese, wie bekannt (C. Fränkel), auf die Lebensprozesse vieler Bakterienarten lähmend wirkt.

Die Durchlüftung des Bodens ist aber auch auf die Art der Zersetzung von bestimmendem Einfluß. Der oben (S. 125) geschilderte Vorlesungsversuch beweist, daß bei Anwesenheit hinreichender Luft im Boden Nitrate gebildet werden, bei Luftmangel aber Ammoniak auftritt; im hinlänglich durchlüfteten Boden verläuft also Oxydation, im mangelhaft gelüfteten hingegen Fäulnis. Wahrscheinlich hat die langsame Zersetzung und Fäulnis der organischen Substanzen im Lehmboden und Torf und die Bildung von Ammoniak seinen Hauptgrund

darin, daß diese Bodenarten viel Feuchtigkeit binden, infolgedessen meist luftarm und impermeabel sind, wodurch die Oxydation der organischen Substanzen erschwert wird und diese in Fäulnis übergehen.

c) Einfluß der Temperatur.

Petersen, Möller, Wollny, Fodor u. a. haben gefunden, daß die Kohlensäureproduktion, also die Zersetzungsprozesse im Boden mit der Temperatur beinahe ganz parallel verlaufen. So hat z. B. Wollny in Erdgemengen bei verschiedenen Temperaturen folgende Kohlensäureproduktion, pro 1000 Vol. Bodenluft, beobachtet:

	Temperatur				
	10°	20°	30°	40°	50°
Komposterde (mit 6,79 % Wassergehalt) . .	2,08	3,22	6,86	14,69	25,17
Kalksand, mit Torfpulver (13,09 % Wasserg.)	5,42	11,56	20,73	32,04	42,42
Komposterde (26,79 % Wasserg.)	18,38	54,24	63.50	80,06	81,52

Die in Gang gesetzte Kohlensäureproduktion wird durch Erniedrigung der Temperatur nur in geringem Maße und erst nach längerer Einwirkung gehemmt; Möller hat sogar bei —9 und —11° noch Kohlensäureproduktion beobachtet.

Schlösing und Müntz[25], dann Warington[26] sahen die Nitrifikation mit der Temperatur parallel ansteigen und bei 36° C. ihr Maximum erreichen. Wenn 55° überschritten werden, hört die Nitrifikation plötzlich auf und unter 5° ist sie gering.

Den Einfluß der Bodenwärme auf die Zersetzung der Abfallstoffe im (natürlichen) Boden haben wir oben (S. 112), beim Kohlensäuregehalt der Grundluft bereits gewürdigt. Offenbar wird diese Zersetzung organischer Substanzen in den oberflächlichen Bodenschichten und zur warmen Jahreszeit am lebhaftesten verlaufen, aber auch in den einzelnen Jahresperioden am meisten schwanken, wogegen in den tieferen Schichten konstantere, aber gemäßigtere Prozesse bestehen.

d) Einfluß der Bodenfeuchtigkeit.

Die Versuche, welche Möller und Fodor mit künstlich verunreinigtem Boden angestellt haben, beweisen, daß die Kohlensäureproduktion im Boden schon bei sehr geringen Feuchtigkeitsgraden (2 Gew. Proz.) besteht, aber bei 4 Proz. stürmisch ansteigt und dann mit zunehmender Feuchtigkeit, aber schon in langsamerem Verhältnis, stetig zunimmt. So haben in gleichem Maße verunreinigte Proben von Sandboden, die in verschiedenem Verhältnis befeuchtet waren, in 24 Stunden folgende Kohlensäuremengen in cm^3 produziert (Fodor):

	Feuchtigkeit pro 100 g Boden			
Tag des Versuchs	2,0 g	4,0 g	8,0 g	17,0 g
am 10. Tage	2,0	24,0	41,0	66,0
„ 20 „	5.0	121,4	138,0	211,4

Bemerkenswert ist die besonders von Möller erwähnte Erscheinung, daß die Kohlensäureproduktion selbst durch eine vollständige Ueberflutung des Bodens mit Wasser nicht aufgehoben, ja nicht einmal vermindert wird. Aehnliches fand Schlösing hinsichtlich der Nitrifikation. Sehr lehrreich ist die Beobachtung von Möller, daß die

Kohlensäureproduktion in einem trockenen Boden nach dem Befeuchten geradezu explosionsartig ansteigt, aber nach einigen Tagen wieder von selbst zurückgeht.

Demnach wird im natürlichen Boden, in unseren Klimaten die für die Zersetzungsprozesse nötige Feuchtigkeit zu jeder Zeit vorhanden sein, und werden die Zersetzungsvorgänge durch Ueberfluten des Bodens mit Grundwasser und durch die bei nachherigem Sinken des letzteren erfolgende Entblößung nur wenig modifiziert. Am meisten können Intensitätsschwankungen und insbesondere explosionsartige Steigerungen der Zersetzung an und nahe zur Bodenoberfläche, ferner gegen Ende Sommer und im Herbst vorkommen, wenn nämlich der Boden nach längerer Trockenheit befeuchtet wird.

e) Einfluß des Grades der Bodenverunreinigung.

Aus obigem Vorlesungsversuch (S. 125) war zu entnehmen, daß die Zersetzung der organischen Substanzen langsamer verläuft, und daß sich gleichzeitig weniger Salpetersäure und mehr Ammoniak bildet, mithin eher Fäulnis stattfindet, wenn die organischen Substanzen in konzentriertem Zustand in den Boden gelangen, und wenn die Verunreinigung an einer Stelle in reichen Massen stattfindet. Die Versuche von Warington, Soyka u. a. haben zu ähnlichen Ergebnissen geführt. Demnach wird der Boden unter Aborten und Düngerhaufen, dann der stark verunreinigte Städteboden eher in Fäulnis übergehen, als der bloß an der Oberfläche und in geringerem Grade verunreinigte Boden auf Feldern.

4. Oxydation und Fäulnis im Boden.

Aus den geschilderten Versuchsergebnissen war ersichtlich, daß im Boden je nach den obwaltenden Verhältnissen Zersetzungsvorgänge von verschiedener Natur und Intensität vorherrschend sind. Auf dieser Grundlage können wir nun auch die im natürlichen verunreinigten Boden bestehenden Zersetzungsprozesse beurteilen.

In einem mäßig verunreinigten Boden wird bei guter Durchlüftung (permeabler Boden, oberflächliche Bodenschichten), bei entsprechender Temperatur und Feuchtigkeit Oxydation und Nitrifikation auftreten, welche zu einer raschen und vollständigen Mineralisierung der organischen Substanzen führen. Wenn aber der Boden stark verunreinigt ist, und besonders wenn er dem Durchtritt der Luft Hindernisse entgegenstellt (sehr feuchter, sehr kompakter Boden, tiefe Bodenschichten), wird bei höheren Temperaturen der im Boden vorhandene atmosphärische Sauerstoff zur Zersetzung der organischen Substanzen nicht ausreichen, und es wird Reduktion, Verbrauch gebundenen Sauerstoffs, also Fäulnis eintreten.

Die an der Oberfläche des Bodens in geringeren Mengen vorhandenen Abfallstoffe werden in der Regel durch Oxydation, und zwar rasch mineralisiert (z. B. Stalldünger); hingegen kann in einem aus Sielen, Abtritten, Düngerhaufen etc. in hohem Grade und bis in die tieferen Schichten hinein verunreinigten Boden (also unter unseren Wohnungen, in Städten) auch Fäulnis eintreten, wo dann die Zersetzung der organischen Substanzen langsamer verläuft, komplizierte Zwischenprodukte auftreten, diese samt den sie begleitenden und erregenden Zersetzungsorganismen sich im Boden anhäufen und von da

in die Wohnungen, ins Wasser und in den menschlichen Körper gelangen können.

5. Verunreinigung und Zersetzungsvorgänge im Städteboden.

Nachdem wir mit dem Verhalten der Verunreinigung im Boden überhaupt bekannt geworden, können wir uns auch darüber eine Vorstellung machen, wie die Verunreinigungsverhältnisse im Boden von bewohnten Orten und Städten sich gestalten werden.

Meines Wissens hat zuerst Prof. Feuchtinger[27] einen unter Schwemmsielen hervorgeholten Boden zu dem Zweck untersucht, die durch die Siele verursachte Bodenverunreinigung zu bestimmen. Diese Untersuchungen hat Wolffhügel fortgesetzt, während Fleck[28] in Dresden aus den anläßlich der Kanalisation aufgegrabenen Straßen 28 Bodenproben untersuchte. Er fand, auf 1000 g Erde berechnet, zwischen 20 und 2180 mg organischen Stickstoff und im Mittel 30 bis 40 mg Ammoniak, aber sehr wenig Salpetersäure (Maximum 10 mg) und folgerte hieraus, daß in der oberflächlichen Schicht des Dresdener Bodens eine Oxydation kaum stattfinden dürfte. Flügge[29] hat gleichfalls anläßlich von Kanalisationsarbeiten entnommene Proben des Berliner und Leipziger Bodens untersucht und fand als Maximum in ersterem (27 Proben) 1770, im Leipziger (8 Proben) 2380 mg organischen Stickstoff. Fodor[30] hat in Budapest in zu epidemiologischen Zwecken (s. unten) ausgewählten mehreren hundert Häusern den Boden bis auf 4 m Tiefe erbohrt und außerdem bei Bauten aus den Fundamentgruben und unter den Abzugskanälen entnommene Bodenproben untersucht. Im Mittel aus sämtlichen Bodenproben und den Tiefen von 1, 2 und 4 m ergab sich folgende Verunreinigung, auf 1000 g trockenen Boden berechnet:

Org. Stickstoff	311	mg
„ Kohlenstoff	4130	„
Salpetersäure	157	„
Ammoniak	10,17	„
Salpetrige Säure	1,09	„

Auf Grund dieser Zahlen berechnete Fodor die Gesamtmenge der organischen Substanzen im Boden bis zu 4 m Tiefe der ein Areal von rund 6 Millionen qm occupierenden inneren Stadtteile auf 467 Millionen kg, wovon 71 Millionen kg stickstoffhaltige organische Substanzen. Die in diesem Boden gefundene Stickstoffmenge wird von 100000 Personen in 37 Jahren entleert.

Der am stärksten verunreinigte Boden fand sich unter der Sohle eines Abzugskanals und enthielt im Kilo Erde 12360 mg organischen Stickstoff und 47018 mg organischen Kohlenstoff.

Dagegen waren in den reinsten Bodenproben nur verschwindend geringe Mengen organischer Substanz enthalten; als Minimum wurden in 1 m Tiefe im Kilo Erde 17 mg organischer Stickstoff gefunden.

Je stärker ein Boden verunreinigt war, um so mehr Ammoniak, aber um so weniger Salpetersäure enthielt derselbe. Die 40 am meisten verunreinigten und die 67 reinsten Bodenproben ergaben für 1 kg Erde:

	Verunreinigter Boden	Reiner Boden
Stickstoff	1132,0 mg	68,6 mg
Ammoniak	33,5 „	6,9 „
Salpetersäure	217,0 „	121,0 „

Sehr lehrreich sind die folgenden konkreten Beispiele:

			Milligramme im Kilo Erde		
			Org. N	H_3N	N_2O_5
Verunreinigter Boden	1	enthielt	2437	426,4	—
	2	„	1098	204,7	—
	3	„	1112	202,0	—
Reiner Boden	1	„	17	2,1	32
	2	„	33	2,0	48
	3	„	72	4,1	216

Fodor hat aus seinen Untersuchungen gefolgert, daß der Gehalt an organischem Stickstoff und an Ammoniak den verläßlichsten Indikator für die übermäßige Verunreinigung des Bodens mit tierischen Stoffen und für seine Fäulnis liefert.

Derselbe fand, daß Abtrittgruben und Abzugskanäle die Hauptquellen der Bodenverunreinigung sind. Aus der von ihm mitgeteilten Tabelle geht hervor, daß der Boden um so weniger organischen Stickstoff und Ammoniak enthielt, je weiter vom Abtritte die Bohrstelle lag. Dies wird auch durch folgende Beispiele illustriert, zu welchen die Proben vom Hof aus über den Kanälen gelegenen Schichten und andererseits unter der Kanalsohle hervor entnommen worden waren:

	In 1000 g Erde	
	Org. N	Org. C
1. a) Bodenschicht über dem Kanal	47 mg	1344 mg
b) „ unter „ „	5043 „	6882 „
2. a) „ über „ „	73 „	4066 „
b) „ unter „ „	5182 „	51400 „

In Budapest hatte die Bodenverunreinigung auch mit der Bewohnerzahl der Häuser zugenommen; es enthielt nämlich 1 kg Erde in 1, 2 und 4 m Tiefe im Mittel organischen Stickstoff:

	Zahl der Häuser	Zahl der Bewohner	Organ. N
1.	31	bis 50	249
2.	47	50—100	329
3.	21	100 und mehr	426

Lehrreich und mit den experimentellen Ergebnissen übereinstimmend ist der Befund, daß zu Budapest die oberflächlichen Bodenschichten mehr verunreinigt waren als die tieferen; sämtliche Bodenproben ergaben im Mittel auf 1 kg Erde:

	Org. N	Salpetersäure	Ammoniak	Salpetrige Säure
aus 1 m Tiefe	403	140	12,8	0,98
„ 2 „ „	321	155	10,2	1,14
„ 4 „ „	210	177	7,2	1,14

Auch aus diesen Daten geht hervor, daß der Boden die organischen Substanzen und das Ammoniak am zähesten zurückhält, dagegen nimmt die Salpetersäure mit der Tiefe zu, weil sie einesteils hinabgeschwemmt wird, andernteils infolge der Oxydation an die Stelle der parallel sich vermindernden organischen Substanzen tritt; auf diese Weise wird ihre Menge mit der Tiefe stetig zunehmen, die der organischen Substanz und des Ammoniaks aber abnehmen. Und wenn man zugiebt, daß der Gehalt an organischen Substanzen und Ammoniak auch in den größeren Tiefen im selben Verhältnis abnimmt, als er von 1—4 m nachweisbar abgenommen hat, so ist es wahrscheinlich, daß diese Stoffe infolge der Absorption und Oxy-

dation in 8—10 m Tiefe schon auf minimale Mengen werden gesunken sein. Diese Annahme dürfte nicht nur nicht zu gewagt sein, sondern in der Wirklichkeit durch die Thatsachen wahrscheinlich noch übertroffen werden. Die organischen Substanzen nehmen unterhalb 4 m Tiefe ohne Zweifel noch rascher ab, als es von der Oberfläche bis zu 4 m Tiefe beobachtet wird, da der Boden in 4 m Tiefe noch häufig durch die nahe auf diese Tiefe hinabreichenden Abtrittgruben und Kanalsohlen verunreinigt worden war, was in größeren Tiefen nicht mehr stattfindet.

Diese Verhältnisse beweisen auch, wie wichtig es ist, daß der Grundwasserspiegel tiefer als 4—6 m unter der Bodenoberfläche verbleibe, indem mit zunehmender Tiefe die Wahrscheinlichkeit einer Wasserverunreinigung rapide abnimmt.

Da die Ursachen der Bodenverunreinigung auf dem Gebiet einer ganzen Stadt sehr ungleichmäßig einwirken, werden selbstverständlich auch die Verunreinigungs- und Zersetzungsverhältnisse des Bodens nach Stadtteilen, Häusern, einzelnen Stellen der Hausgründe und Tiefen sehr verschieden sein können. Aus dem Bindevermögen des Bodens folgt aber, daß die in einem Hause in den Boden gelangende Unreinigkeit nicht einmal auf das Nachbarhaus sich zu erstrecken braucht. Ganz anders wird die Antwort auf die Frage ausfallen, ob nicht die Verunreinigung eines Hauses durch das Grundwasser auf den Boden der Nachbarhäuser übertragen werden könne? Hierüber soll weiter unten (S. 134) das Wichtigste gesagt werden.

6. Die Selbstreinigung des Bodens.

Die Fähigkeit des Bodens, hineingelangte organische Substanzen zu binden und gleichzeitig zu zersetzen, namentlich zu oxydieren, ist in hygienischer Beziehung überaus wichtig, weil die Unreinigkeit vermöge dieser Fähigkeit an derselben Stelle, wo sie in den Boden gelangte, wie durch ein unsichtbar wirkendes, langsames Feuer zu Asche verbrannt wird. In dieser Weise werden die Abfallstoffe ununterbrochen verzehrt und vermindert, in Kohlensäure, Wasser, Salpeter- und salpetrige Säure, sowie Ammoniak übergeführt, und in dieser Gestalt mit der Grundluft und dem Grundwasser aus dem Boden entfernt. Der Boden reinigt sich selbst, wenn derselbe nicht mit fortwährend erneuerter und übermäßiger Verunreinigung beladen wird.

Zunächst ist es zu wissen wichtig, wie rasch diese Reinigung eintritt?

Die an Leichen gesammelten Erfahrungen lassen im allgemeinen folgern, daß die Zersetzung der organischen Substanzen im Boden unter günstigen Umständen rasch erfolgt. In einem entsprechenden Boden werden große Leichname, deren Substanzen, in eine Masse vereinigt, den zersetzenden Faktoren offenbar schwerer zugänglich sind, binnen 3—4—5 Jahren und sogar noch rascher mineralisiert oder zu mindest humifiziert (Reinhard, Schützenberger). Im Mergelboden des Wiener Friedhofs waren sogar Kinderleichen nach 2—3, Leichen von Erwachsenen nach 3—4 Jahren bis auf die Knochen und etwas humusartige Substanz gänzlich verwest[31]. Daß die organischen Sub-

stanzen in fein zerteiltem Zustande noch rascher im Boden verbrennen können, versteht sich wohl von selbst und wird z. B. durch die Versuche von Frankland[32] bewiesen, wonach aus auf eine 1 m starke Bodenschicht aufgegossener Sieljauche während der kurzen Durchgangszeit 85 Proz. des organischen C und 95,5 Proz. des organischen N verschwunden und an deren Stelle Kohlensäure und Salpetersäure getreten waren; ferner ist durch die Versuche von Wollny[33] bewiesen, daß eine Zerkleinerung der organischen Substanz den Oxydationsprozeß wesentlich beschleunigt.

Konkrete Versuche über die Frage, wie lange es braucht, bis die Unreinigkeit aus einem Städteboden gänzlich verschwindet, wie rasch also der Boden bei Ausschluß neuerer Verunreinigung wieder ganz rein werden kann, vermochte ich nicht aufzufinden, halte aber durch die angeführten Daten für bewiesen, daß ein nicht übermäßig verunreinigter und nicht in Fäulnis befindlicher Boden unter günstigen Verhältnissen sich, namentlich in den oberflächlichen Schichten sehr rasch, vielleicht schon in 1—2 Jahren seiner Unreinigkeit entledigen kann.

Stehen aber die Verhältnisse ungünstig, ist z. B. der Zutritt von Feuchtigkeit und Luft in den Boden durch Pflaster verhindert oder die Unreinigkeit massenhaft vorhanden und daher in Fäulnis begriffen, endlich die Unreinigkeit in den tieferen Bodenschichten enthalten, also ein Mangel von Luft und Sauerstoff vorhanden, so wird auch die Zersetzung langsamer von Statten gehen und vielleicht eine längere Reihe von Jahren in Anspruch nehmen.

Daß gewisse organische Substanzen (Fett, Oele, Cellulose) der Zersetzung zähen Widerstand leisten, wird wohl durch Versuche bewiesen, hat aber für die Hygiene keine besondere Bedeutung.

7. Verhalten der Bodenverunreinigung zum Grundwasser.

Aus der Bindekraft und der oxydierenden Eigenschaft des Bodens für Abfallstoffe folgt zunächst, daß die Natur dem Vordringen der Verunreinigung bis zum Grundwasser ein mächtiges Hindernis in den Weg stellt. Schon bei einem Stand des Grundwasserspiegels von 8—10 m unter Oberfläche kann angenommen werden, daß die Unreinigkeit — selbst in einem hochgradig verunreinigten Boden — kaum bis zum Grundwasser, durch den Boden hindurch, eindringen kann. Dieselbe wird auf diesem Wege aufgehalten und allmählich zersetzt, mineralisiert. Wenn also von einer Verunreinigung der Brunnen mit Abtrittstoffen, namentlich mit frischen Typhus- und Choleraausleerungen gesprochen wird, so muß man sich stets vor Augen halten, daß die organischen Substanzen und noch mehr die bloß suspendierten Formelemente (Bakterien) nur sehr langsam im Boden gegen das Grundwasser vordringen, und sich vor übereilten Folgerungen über Infektion des Grundwassers hüten.

Andererseits ist aber nicht zu verkennen, daß Abtrittstoffe und andere Verunreinigungen des Bodens, sowie deren Produkte eventuell doch, und zwar mit unerwarteter Raschheit, einen Weg in das Grundwasser finden; so namentlich dann, wenn das Grundwasser hoch steht oder während seiner Schwankungen bis in die verunreinigten Bodenschichten ansteigt und so die letzteren auslaugt. Auch das ist nicht zu vergessen, daß der Boden seine die organischen Schmutzstoffe zurückhaltende Fähigkeit bei übermäßiger Infiltration durch solche Stoffe (wie sie eben

unter der Sohle von Abtrittsgruben und Kanälen sich finden) allmählich einbüßt und so die Jauche dem Grundwasser zufließen läßt. Ferner hat man zu bedenken, daß manche Bodenarten (Kies) das Eindringen der Unreinigkeit in die Tiefe nicht in dem Maße behindern, wie ein Sand- oder Lehmboden, und endlich darf nicht übersehen werden, daß von den Abtrittgruben und Sielen zum Brunnenwasser auch direkte Kommunikationen (z. B. durch Rattengänge etc.) zustande kommen können. Dann wird die Möglichkeit für ein Eindringen von Verunreinigung, von Typhus- und Choleraentleerungen binnen kürzester Zeit aus dem Abort in den Brunnen vorhanden sein. Aber auch auf der Bodenoberfläche vergossene Typhus- oder Choleramassen könnten anstatt durch den Boden einen viel kürzeren Weg in den Brunnen finden, wenn dieselben von oben hineinfallen oder hineingewaschen werden. Es wird daher bei verunreinigtem und infiziertem Boden stets auch die Möglichkeit und Gefahr einer Verunreinigung und Infektion des Grundwassers bestehen (vergl. S. 149).

Findet man im Grundwasser viel organische Substanz oder gar Ammoniak, so muß man auf Grund obiger Erörterungen in erster Reihe annehmen, daß die Quelle der Wasserverunreinigung in der Nähe des Wasserspiegels sich befindet, ja, daß das Wasser selbst im verunreinigten Boden steht, — und darf erst in zweiter Reihe an die Möglickeit denken, daß der Boden in den über dem Wasser gelegenen Schichten mit organischen Substanzen und Ammoniak saturiert und aus diesem Grund nicht imstande ist, dieselben vom Wasser fernzuhalten. In dritter Reihe wird man wieder an eine direkte Kommunikation zwischen Schmutzansammlungen und Brunnen denken.

Es wäre ein Irrtum, anzunehmen, daß niedergehende Meteorwässer aus den oberflächlichen Bodenschichten frische Infektionsstoffe durch den Boden hindurch ins Grundwasser hinunterführen könnten, da das Regenwasser, wie auseinandergesetzt wurde, in den oberflächlicheren Schichten gebunden bleibt und dies auch mit den Unreinigkeiten (mit letzteren noch in höherem Maße) geschieht, wobei die in den tieferen Schichten stagnierenden, die kapillären Räume des Bodens erfüllenden, von vorhergehenden Regenfällen herrührenden Wässer und Schmutzstoffe deplaciert werden und ins Grundwasser gelangen können. Das Wasser, welches nach einem Regen den Grundwasserspiegel steigen macht, ist also in der Regel nicht das frisch gefallene und in den Boden eingedrungene Regenwasser, sondern hat schon seit langem im Boden gestanden, kann also auch nur seit langem ausgelaugte Stoffe enthalten, — vorausgesetzt, daß diese ausgelaugten und allmählich in tiefere Schichten geführten Abfallstoffe nicht inzwischen vom Boden verbrannt wurden.

Steigendes Grundwasser wird im allgemeinen mehr verunreinigt sein als fallendes, weil es in relativ mehr verunreinigte Bodenschichten gelangt; beim Fallen wird aber das Grundwasser reiner, weil das fallende Wasser einen Teil der ausgelaugten Unreinigkeit vermöge der Absorptionskraft des Bodens in letzterem zurückläßt und weil es in reinere Bodenschichten gelangt. Pettenkofer hat sich schon vor langem in diesem Sinne geäußert und die Ansicht bekämpft, als ob sinkendes Grundwasser mehr verunreinigt sein müßte, weil die aus dem Boden ausgelaugte Unreinigkeit „in weniger Wasser konzentriert wird", und als ob eine derartige Verunreinigung des Grund-(Brunnen-)Wassers es wäre, wodurch der Typhus beim Sinken des Grundwassers gefördert

wird. Schüler Pettenkofer's (Wagner[34], Aubry[35]) haben thatsächlich konstatiert, daß das Brunnenwasser bei sinkendem Grundwasserstand nicht nur nicht unreiner, sondern geradezu reiner wurde, indem es weniger festen Rückstand ergab. Die Erklärung, daß bei sinkendem Grundwasser das Aussickern des Inhaltes aus Abtrittgruben und Sielen in höherem Maße erfolgt, als wenn das Grundwasser bei hohem Stand bis an diese Behälter hinanreicht, — welche wiederholt zur Beleuchtung der Thatsache in Anspruch genommen wurde, daß die Zunahme der Typhusfalle gerade mit dem Sinken des Grundwasserspiegels zeitlich übereinstimmt[36] —, kann nur unter ganz exceptionellen Verhältnissen bestehen, wenn nämlich das Grundwasser bis an das Niveau der Flüssigkeit in der Grube oder im Siele oder gar noch über dieses hinaufreicht. In solchen Ausnahmefällen ist das Herausfiltrieren des Grubeninhaltes jedenfalls erschwert, ja das Grundwasser wird in die Grube hineindringen, und erst beim Sinken des Grundwassers unter die Sohle wird eine Filtration der Jauche nach außen eintreten und Verunreinigung des Grundwassers stattfinden. Gewöhnlich und im allgemeinen wird jedoch die Bindekraft des Bodens für organische Substanzen bewirken, daß die Möglichkeit einer Wasserverunreinigung in dem Maße abnimmt, als der Grundwasserspiegel sich von der Gruben- oder Kanalsohle entfernt.

Es ist auch klar, daß dem Stand und den Schwankungen nur bei oberflächlichem Grundwasser eine größere epidemiologische Bedeutung zukommen wird, weil dieselben nur unter solchen Verhältnissen einen unreinen Boden vorfinden und Veränderungen in den Zersetzungsprozessen, sowie in der Verunreinigung des Wassers bewirken können. Pettenkofer hebt in neueren Arbeiten[37] eigens hervor, daß es nicht die Schwankungen des Grundwassers an sich sind, welche die Frequenz der Typhusfälle beeinflussen, sondern die Schwankungen desselben in einem **unreinen** Boden.

Während Regen- und auch Grundwasser, wenn sie nach abwärts sinken, nur schwer imstande sind, organische Substanzen (und Bakterien) nach unten zu befördern, wird hinsichtlich der Frage, ob abströmendes Grundwasser imstande ist, hineingelangte Unreinigkeiten fortzutragen, der Sachverhalt wohl ein anderer sein. Diese Frage ist insofern von Wichtigkeit, als es hiervon abhängt, ob eine an einer gewissen Stelle stattgefundene Verunreinigung des Grundwassers auch an anderen, entlegeneren Stellen zu einer Brunnenverderbnis führen kann.

Ich glaube: Ja! Denn bei horizontalen Grundwasserströmen werden die ins Wasser gelangten Stoffe durch die fortwährend nachfolgenden Wassermassen unaufhaltsam fortgespült und bewegt; beim Einsickern von der Oberfläche in die Tiefe fehlt dieses unausgesetzte Nachspülen, und darum werden die organischen Stoffe auch im Boden haften bleiben. Uebrigens spricht für dieses Fortschwemmen der Unreinigkeit auch die Thatsache, daß in Städten mit verunreinigtem Boden sämtliche Brunnen verunreinigtes, auch die an reinen Bodenstellen eingestreut gelegenen nicht reines Wasser führen. Pettenkofer beschreibt sogar einen Fall, wo das Ammoniakwasser einer Gasfabrik sich mit dem Grundwasser schnell und weithin verbreitete. Von oben nach unten hätte es offenbar eine so mächtige Bodenschicht nicht so rasch durchdringen können.

1) *Vgl.* **Ad. Mayer**, *Lehrb. d. Agrikult.-Chem.* (1871), 2. *Bd.* 77; **Soyka**, *Boden*, 180.
2) **A. Orth**, *Landwirtsch. Versuchsstat.* (1878) 56.
3) *Vgl.* **Detmer**, *Die naturwiss. Grundlagen d. allg. Bodenkunde* (1876) 313.
4) *Vgl. in Reinigung und Entwässerung von Berlin, Anhang, I* 120.
5) *V. f. öff. Ges.* (1875) 732. — **Lissauer**, *ebendas.* (1876) 582.
6) *Annales d'hyg. publ.* (1877) *Heft* 2.
7) *V. f. ger. Med.* (1877) *Juliheft* 125, (1878) *Oktoberheft* 282, (1891) 2. *Bd.* 171. *Ferner Deutsche med. Zeitung* (1893) *No.* 5.
8) *Hyg. Unters. üb. Luft, Boden und Wasser, Abt. II.*
9) *A. f. Hyg.* 1. *u.* 2. *Bd.*
10) *Unters. zur Kanalisation, München* (1885); *ferner A. f. Hyg.* 2. *Bd.*
11) *Z. f. Biol.* 11. *Bd.*
12) *Vgl.* **Liebig** (*Zöller*), *Die Chemie in ihrer Anwendung etc.* (1875) 117; *ferner* **Pillitz**, **Knop**, **Armsby** *u. a. im Centrbl. f. Agrikulturchemie*, *Bd.* 8, 9 *u. ff.*; **Bemmelen**, *Landwirtschaftl. Versuchsstat.* 21., 23., 35. *Bd.*; **Kellner**, *daselbst* 33. *Bd. u. s. f.*
13) *Ann. d'hyg. publ.* (1877).
14) *A. f. Hyg.* 2. *Bd.*
15) *Comptes Rendus* 95. *Bd* 691, 854.
16) *Biedermann's Centralblatt* (1887).
17) **Fodor**. *Hyg. Unters von Luft, Boden und Wasser, II. Abt.*
18) *L. c.* **Proust**, *Hygiène* 613.
19) *XI. Jahresber. d. Landes-Med.-Koll.*, *Leipzig* (1881) 163.
20) *III.*, *IV.*, *V. Jahresber. d. chem Centralstelle in Dresden.*
21) *Landwirtsch. Versuchsstat.* 13. *Bd.* 155.
22) *S. Reinigung und Entwässerung von Berlin a. a. O.* 124—9, 134.
23) *Landwirtsch. Jahrb.* (1874).
24) *Ann. agronomiques* (1884).
25) *Comptes Rendus* 89. *Bd.* 1074.
26) *Chem. Centralbl.* (1879) 439.
27) *Z. f. Biol.* 11. *Bd.* 463.
28) *V. Jahresbericht d. Land.-Med-Koll.*
29) *Beitr. z. Hygiene, Leipzig* (1879) 87.
30) *Hyg. Unters. v. Luft, Boden u. Wasser, II.*
31) *Jahresber. des Wien. Stadtphysikats* (1882) 99.
32) *S. Reinig. u. Entw. a. a. O.*
33) *Biedermann's Centralblatt* (1887).
34) *Zeitschr. f. Biol.* 2. *u.* 3. *Bd.*
35) *Ebendas.* 6. *u.* 9. *Bd.*
36) **Baker**, *Rep. of the Board of Health of Michigan* (1884).
37) *Der epidemiologische Teil des Berichtes etc., München-Leipzig* (1888) 53.

SECHSTES KAPITEL.

Bakterien im Boden.

Sobald die allgemeine hygienische Bedeutung der Bakterien erkannt war, hat man dieselben auch im Boden aufgesucht und gefunden.

Birch-Hirschfeld[1] untersuchte im Jahre 1874 Dresdener Bodenproben teils direkt unter dem Mikroskop, teils nach Züchtung in Cohn'scher Nährlösung. Nach derselben Methode hat Fodor mehrere hundert durch Bohrung entnommene Bodenproben untersucht und gefunden, daß während der oberflächliche Boden stets schon in einigen Milligrammen Bakterien enthielt, die mit aus 4 m Tiefe entnommenem Boden angesetzten Kulturen wiederholt steril blieben, und wenn es zu einer Entwickelung von Bakterien kam, so war diese gewöhnlich geringer und spärlicher als in den mit oberflächlicheren Bodenproben angesetzten Kulturen. Aus den oberen Bodenschichten wuchsen meist „Bakterien" weniger „Bacillen"; Mikrokokken und Spirobakterien waren noch seltener (Hyg. Unters., Abt. 2, S. 194).

Fodor hat ferner nachgewiesen, daß Bakterien überhaupt sehr schwer durch den Boden in die Tiefe gelangen. Auf den in einer Glasröhre enthaltenen sterilisierten Boden wurde faulender Harn oder gefaulte Nährlösung in kleinen Anteilen aufgegossen; das abträufelnde, in Cohn'scher Nährlösung aufgefangene Filtrat blieb bei langsamem Aufgießen sehr lange unverändert und zeigte keine Entwickelung von Bakterien, zum Beweis dafür, daß die Bakterien durch den Boden zurückgehalten worden waren. Sobald aber das Aufgießen in raschem Strome erfolgte, waren nach kurzer Zeit auch die Bakterien durch die 1 m starke Bodenschicht hindurchgedrungen.

Miquel[2] hat die an verschiedenen Stellen, aber nur aus ganz oberflächlichen Bodenschichten (in 10—20 cm Tiefe) entnommenen Proben gezüchtet und auf den Gramm Boden 7—900000 Schizophyten gezählt.

Es versteht sich wohl von selbst, daß auch die Erforschung der Bakterien des Bodens an Gründlichkeit gewann, als Koch seine festen Nährböden auch auf unser Gebiet anwandte und gleichfalls konstatierte[3], daß die Bakterien in den oberflächlichen Bodenschichten überaus reich-

lich vorhanden sind, aber mit der Tiefe so rasch abnehmen, daß er überhaupt bezweifelte, ob im nicht aufgewühlten Boden unter 1 m Tiefe noch Bakterien vorhanden wären. Seitdem wurde der Bakteriengehalt des Bodens von zahlreichen Forschern, namentlich von Beumer[4], Adametz[5], Maggiora[6], C. Fränkel[7], G. und P. Frankland[8], Reimers[9], Eberbach[10] u. a. untersucht. Die Ergebnisse stimmen hauptsächlich darin überein, daß die Anzahl der Bakterien an der Oberfläche und in den 0,5—1 m tiefen Schichten des Bodens überaus groß ist und unterhalb 2 m rasch abnimmt. C. Fränkel fand in Berlin und Umgebung in 1 cm^3 Erde an der Oberfläche 45000 bis unzählbar viel, in 1 m Tiefe im Maximum 150000, als Minimum 200, ja steril, in 2 m Tiefe von 200000 bis 100 und steril, in 3 m Tiefe von 34000 bis keine, in 4 m Tiefe von 8000 bis keine Bakterien auf. Im großen ganzen war der Boden auf Feldern bakterienärmer als in der Stadt, und nahm dort insbesondere die Zahl mit der Tiefe rascher ab. Fränkel fand ferner, daß auch die Sporen in den tieferen Schichten rasch abnahmen, und daß hier auch die Zahl der anaëroben Arten gering war. Die Richtigkeit der Untersuchungen von Beumer und Maggiora, welche selbst in 5—6 m Tiefe noch sehr viel Bakterien fanden, kann aber bezweifelt werden, weil es nicht ausgeschlossen ist, daß die Bakterien sich bei ihren Versuchen während des Stehens der Bodenproben im Laboratorium vermehrt haben. Smolensky[11] fand gleichfalls, daß die Bakterien in der Tiefe abnehmen, aber im Bereiche des Grundwassers wieder rasch zu kolossalen Mengen sich emporschwingen.

Die Art und Anzahl der Bakterien im Boden ist zu verschiedenen Zeiten offenbar verschieden. G. Rigler hat den Boden des hygienischen Institutes zu Budapest (unaufgewühlter feinkörniger Sand) im Frühjahr (17. März 1892) und Mitte Sommer (26. Juli 1892) auf Bakterien untersucht und bei der ersten Gelegenheit in den durch Bohrung entnommenen Erdeproben in 0,5 m Tiefe noch sehr viele, aber schon in 1 m auffallend wenige Bakterien, dagegen aus den aus 2 und 4 m Tiefe entnommenen Proben überhaupt Kulturen nur dann erhalten, wenn er größere Mengen Materials in Arbeit nahm. Im Juli aber waren die Bakterien auch in 2 m Tiefe noch zahlreich, in 3 und 4 m Tiefe auch jetzt nur sehr spärlich vorhanden.

Diesbezüglich sind weitere und umfassendere Untersuchungen wünschenswert.

1. Rolle der Bakterien im Boden.

Gleichwie die frühesten Forschungen sich zunächst der Frage zuwandten, ob die Bakterien an den Zersetzungsprozessen der organischen Substanzen beteiligt sind, und die Frage nach ihrer Mitwirkung bei der Pathogenese erst später hinzukam, so war auch hinsichtlich der Bodenbakterien die erste Frage die, ob die Bakterien an den im Boden verlaufenden Zersetzungsvorgängen, an der Kohlensäureentwickelung, Nitrifikation u. s. w. Anteil haben, und erst später suchte man festzustellen, ob unter denselben auch pathogene Arten vertreten sind.

Daß bei den Zersetzungsvorgängen im Boden die Bakterien eine Rolle spielen, haben schon Pasteur, Alex. Müller, Fodor u. a.

vermutet; letzterer versuchte sogar den Boden durch Einblasen von Chlorgas zu desinfizieren[12]. Später haben Schlösing und Müntz[13], Hehner[14], Falk[15], Warington[16], Wollny[17] und wieder Fodor[18], Landolt[19], Uffelmann[20], Falk u. Otto[21] u. a. diese Rolle der Bakterien untersucht, wobei sich herausstellte, daß ein erhitzter, in Dampf sterilisierter Boden weder nitrifizierte noch Kohlensäure produzierte, und daß auch die Absorptionskraft des Bodens für organische Substanzen bedeutend abgenommen hat. Nur ausnahmsweise sind Forscher zu dem Ergebnis gelangt, daß die Nitrifikation im Boden von den Bakterien unabhängig ist, wie z. B. Frank[22]; doch wurden die Mängel seiner Versuche von A. Baumann[23] aufgedeckt. In den Versuchen von Fodor zeigten die nach Aufgießen von diluiertem ($^1/_{10}$) Harn abgeflossenen Flüssigkeiten folgende Zusammensetzung, auf 100 ccm berechnet:

	Durch nicht erhitzten Boden filtrierte Flüssigkeit	Durch erhitzten Boden filtrierte Flüssigkeit
Ammoniak	1,75 mg	1,5 mg
Org. Substanzen (mit Permanganat bestimmt)	19,2 „	84,04 „
Salpetersäure	90,0 „	0

Ferner war die produzierte Kohlensäuremenge bei steigender Temperatur bis 60—65° C. kontinuierlich gestiegen, zwischen 65 und 95° wieder kontinuierlich, aber allmählich, und über 95° C. hinaus plötzlich abgefallen. Falk hat gefunden, daß Thymol, Naphthylamin, Nikotin, Ptyalin etc. einen erhitzt gewesenen Boden unverändert passieren, im nicht erhitzten Boden dagegen zurückgehalten werden (vergl. auch S. 127).

Schlösing und Müntz, dann Soyka[24] haben die Abnahme der Nitrifikation im erhitzten Boden gleichfalls beobachtet; ferner konnten die letztgenannten Forscher, dann Warington und Wollny nachweisen, daß in einem Boden nach Durchleitung von Chloroformdämpfen sowohl die Nitrifikation als die Kohlensäureproduktion aufhörte.

Aus allen diesen Erscheinungen wurde mit Recht gefolgert, daß die Zersetzungsvorgänge im Boden, namentlich die Bildung von Kohlensäure und Salpetersäure durch Mikroorganismen bedingt sind.

Schlösing und Müntz, dann Fodor versuchten die bei der Nitrifikation und bei der ammoniakalischen Zersetzung wirksamen Organismen zu isolieren, was ihnen aber bei der Unzulänglichkeit der damaligen Methoden nicht gelang. Uebrigens vermögen auch die neueren Untersuchungen die Frage nicht mit Bestimmtheit zu beantworten, welche Organismen bei diesen Prozessen thätig sind. Heraeus[25], Celli[26] und Sachsse[27] schreiben die Fähigkeit zur Nitrifikation verschiedenen Organismen (u. a. den Anthrax-, Typhus- und Cholerabacillen, den Finkler'schen Spirillen, den Staphylokokken etc.) zu, während P. u. G. Frankland[28] einen Bacillococcus beschreiben, der salpetrige Säure produziert, aus welcher wiederum durch einen anderen Organismus Salpetersäure gebildet wird. Endlich schreibt Winogradsky[29], dem sich auch Müntz anschließt, in seinen neuesten Arbeiten die Salpetersäurebildung kleinen (0,5 μ), ovalen Mikroorganismen zu, und ähnlichen, aber beträchtlich größeren Organismen die Bildung von salpetriger Säure.

Auch die reduzierenden Bodenbakterien und ihre Thätigkeit sind nicht hinlänglich bekannt. Dehérain und Maquenne führen diese Wirkung auf anaërobe Bakterien zurück; Heraeus, Celli, G. und P. Frankland haben für die verschiedensten Bakterien reduzierende Eigenschaften nachgewiesen, welche auch von Petri[31] für die Cholerabakterien bestätigt werden. Breal[32] fand auf Stroh eine Bakterienart, welche die Salpetersäure auch an der Luft reduziert und dieselbe auch auf Wiesen und in den oberflächlichen Bodenschichten in Ammoniak überführen soll.

Daß im Boden neben Nitrifikation, Kohlensäurebildung und Reduktion noch weitere chemische Prozesse durch Bakterien und andere bisher unbekannte Fermente unterhalten werden, ist sehr wahrscheinlich. Hierher wären vielleicht die oft behauptete und negierte (Dehérain, Berthelot u. A.) Umwandlung von atmosphärischem Stickstoff in der Luft und im Boden zu Nitraten und Nitriten, dann die nach Hoppe-Seyler[33] in Boden und Gesteinen verlaufenden Gärungsprozesse zu zählen. Die Bildung von Rasenerz und Sumpferz ist nach Winogradsky gleichfalls Bakterienarbeit.

2. Lebensprozesse der Bakterien im Boden.

Die Lebensvorgänge der Bakterien an der Oberfläche und im Innern des Bodens sind offenbar sehr komplizierter Natur, weil sowohl die hier in Betracht kommenden Bakterienarten (auch die bekannten, von den unbekannten gar nicht zu sprechen) überaus verschiedenen Lebensgesetzen unterworfen sind, als auch die auf die Bakterien einwirkenden Faktoren (von den bekannten z. B. Luft, Licht, Wärme, Nährsubstanz, Feuchtigkeit, Konkurrenz, — die unbekannten wieder gar nicht zu rechnen) nach Zeit und Ort überaus wechseln.

Darum ist es auch unmöglich, für das Verhalten der Bodenbakterien im Boden eine allgemeine Regel aufzustellen. Was aus den vorliegenden Erfahrungen über Nitrifikation, Kohlensäurebildung etc. im Boden, ferner über die biologischen Verhältnisse der Bakterien (namentlich der saprogenen und saprophyten) bekannt ist, ließe sich beiläufig in folgendem zusammenfassen:

An der Oberfläche des Bodens leben unzählbare Mengen von Bakterien, und zwar mehr auf dem verunreinigten, als auf reinem Boden. Wärme und Feuchtigkeit (Regen und feuchter Boden) wirken fördernd auf ihr Wachstum, während Sonne und Licht, insbesondere auch die übermäßige Erhitzung durch Sonnenstrahlung, dann Austrocknung und Reinlichkeit ihre Zahl bedeutend vermindern können. Nach der vegetativen Winterruhe werden die Oberflächenbakterien durch die Frühjahrswärme und Feuchtigkeit zu lebhafter Thätigkeit angeregt, während sie im Sommer und während der trockenen Jahreszeit eine wahrscheinlich nur geringe Arbeit leisten, um zur Zeit der Herbstregen zu intensiver Thätigkeit angefacht zu werden, im Winter aber fast zur Unthätigkeit verdammt zu sein. Witterung, Regen, Trockenheit, Kälte und Wärme sind also auf Bakterien, die an der Bodenoberfläche vegetieren, von wesentlichem Einfluß.

Auch in den oberflächlichen Bodenschichten, bis zu 1—2 m Tiefe, giebt es sehr viel Bakterien, in Städten in der Nähe von Abtrittgruben etc. eventuell sogar noch mehr als an der Oberfläche.

Für ihre Existenz und Vermehrung ist es günstig, daß sie gegen Insolation, Licht und Austrocknung hier besser geschützt sind als an der Oberfläche, aber nachteilig, daß weniger Sauerstoff zur Verfügung steht, und daß ihre Zersetzungsprodukte (gasförmige [Kohlensäure] ebenso wie andere) schwerer entfernt werden, was ihrer Vegetation hinderlich sein mag. Die freie Kohlensäure der Grundluft kann auch hindernd auf ihre Lebensthätigkeit einwirken (Fränkel)[34]. In diesen Schichten ist die Wärme geringer, aber gleichmäßiger; die Lebensthätigkeit der Bakterien wird weniger intensiv, aber kontinuierlich, ohne „Ruhe"-Pausen, wenigstens nicht so ausgesprochene, wie an der Bodenoberfläche verlaufen. In den tieferen Schichten werden aber die anaëroben und besonders die fakultativ aëroben besser als die obligaten aëroben Arten gedeihen, daher auch den Kampt mit den gewöhnlichen aëroben Saprophyten erfolgreicher führen können. Ihr Wachstum wird den Höhepunkt im Sommer und Herbst erreichen, dagegen im Winter und Frühjahr auf das geringste Maß herabsinken; ein vollkommener Stillstand in der Lebensthätigkeit dürfte aber kaum jemals eintreten. Witterung, Regen, Grundwasserschwankungen und hieraus folgende Feuchtigkeit werden diese Bakterien nur in mäßigem Grad beeinflussen.

In noch größeren Tiefen (unter 2 m) scheinen die dahin hinabgeschwemmten Bakterien successive zu Grunde gehen zu müssen. Weder die Anaëroben noch die Sporen besitzen genügende Widerstandskraft. Dies beweist die geringe Zahl, in welcher dieselben in tieferen Bodenschichten angetroffen werden. Wachstum und Vermehrung sind hier noch weniger wahrscheinlich, obschon ihre Existenz und sogar eine Vermehrung weder durch die Temperatur oder die geringere Menge organischer Nährstoffe in den tieferen Schichten, noch durch die Abnahme des Sauerstoffes ausgeschlossen ist (ausgenommen für einige Bakterienarten, die zum Gedeihen höherer Temperaturgrade bedürfen). Jahreszeit, Witterung, Feuchtigkeitsschwankungen werden auch, da sie hier nur geringe Veränderungen erleiden, auf die Lebensthätigkeit der Bakterien nur von geringem Einfluß sein.

Nach alledem vermögen Veränderungen in Temperatur, Feuchtigkeit und Verunreinigung des Bodens wohl das Bakterienleben im Boden zu modifizieren und können infolge dessen auch als Indikatoren der bakteriellen Lebensprozesse in Anspruch genommen werden; doch ist diese Modifikation nur in den oberflächlichen Schichten bedeutender; unter 2—3 m dürften Schwankungen der Feuchtigkeit und Temperatur in Beziehung zum Bakterienleben so ziemlich bedeutungslos ablaufen.

Ebenso können als Ausdruck der bakteriellen Lebensprozesse im Boden die Bildung von Kohlensäure, Salpetersäure, dann auch von salpetriger Säure, ferner Reduktionsprozesse: Bildung von Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Sumpfgas angesprochen werden; doch muß man sich auch hier hüten, aus der Menge Kohlen- und Salpetersäure oder Ammoniak voreilig auf Schwankungen jener Prozesse zu folgern, da man ja weiß, daß die vorhandenen Mengen bei der Kohlensäure auch von der Permeabilität, bei Salpetersäure und Ammoniak aber von der Absorptionskraft, dann vom Auslaugen des Bodens durch Wasser abhängen.

3. Pathogene Bakterien im Boden.

Die Anwesenheit und das Verhalten pathogener Bakterien im Boden ist derzeit die wichtigste Frage der Bodenhygiene. Durch die neueren bakteriologischen Untersuchungsmethoden sind wir befähigt, die Bakterien im Boden leichter zu erkennen und auch zu verfolgen; doch muß leider konstatiert werden, daß unsere diesbezüglichen Kenntnisse noch am Anfang des Anfangs sich befinden.

Die ersten pathogenen Bakterien, die im Boden mit verläßlicher Genauigkeit erkannt wurden, waren die Bacillen des Milzbrandes und des malignen Oedems. Pasteur[35] hat, um zu erfahren, ob eine Bodenstelle, wo an Milzbrand eingegangene Tiere verscharrt sind, aus dem Grunde zu infizieren vermag, weil die Milzbrandbacillen aus den vergrabenen Kadavern durch Regenwürmer an die Oberfläche gefördert werden, im Boden nach Milzbrandbacillen geforscht und während der Probeimpfungen gleichzeitig die Bacillen des malignen Oedems (Vibrion septique) entdeckt. Dann haben Koch, sowie Gaffky die nämlichen Bakterien im Boden gründlicher untersucht[36] und angegeben, daß die Oedembacillen — so zu sagen — überall im Boden in den oberflächlichen Schichten, insbesondere in verunreinigtem, gedüngtem Boden anzutreffen sind.

Auf ähnliche Weise wie Pasteur hat dann Nicolaier[37] die Tetanusbacillen entdeckt, die wieder besonders in gedüngtem Boden und im städtischen Straßenstaub häufig vorkommen. In der freien Natur sind bisher andere pathogene Bakterienarten im Boden mit verläßlicher Präcision nicht nachgewiesen, obschon von den Typhusbacillen behauptet wird, daß ihr Züchten aus verunreinigtem Boden gelungen ist, so von Tryde[38] im verunreinigten Boden einer Kopenhagener Kaserne, und von Macé[39] im Boden eines Typhushauses, nahe bei einem Brunnen, in dessen Wasser Typhusbacillen nicht nachgewiesen werden konnten. Klebs und Tommasi-Crudeli[40], dann Ceci, Schiavuzzi[41] u. a. haben auch im Boden gefundene Malariabacillen beschrieben, doch ist es seitdem sehr zweifelhaft geworden, was das eigentlich für Bacillen waren, und ob sie überhaupt etwas mit der Malaria zu schaffen haben.

Der Umstand, daß bisher im Boden nicht einmal die Infektionserreger der sogenannten Bodenkrankheiten (Typhus, Cholera, Malaria) nachgewiesen sind, darf nicht dahin gedeutet werden, als ob dieselben im Boden überhaupt nicht anwesend wären; die Erfolglosigkeit der Untersuchungen hat ihren Grund offenbar in der Unzulänglichkeit unserer Methoden. Man wird den Boden besonders in endemischen Orten und zu epidemischer Zeit in weitem Arbeitskreise und mit viel Geduld durchforschen müssen, ehe man sich mit beruhigender Sicherheit darüber aussprechen kann, daß die gesuchten Organismen inmitten der Milliarden gewöhnlicher Bakterien wirklich vorkommen oder fehlen. Solche Untersuchungen konnten aber die hygienischen Institute mit ihren unzureichenden Dotationen bisher nicht mit der nötigen Ausdauer verfolgen. Die Schwierigkeiten werden noch dadurch gesteigert, daß z. B. der Infektionsstoff der Malaria außerhalb des menschlichen Körpers unbekannt ist.

Um so eifriger war man bestrebt, das Verhalten der wichtigsten pathogenen Bakterien in Versuchsboden zu verfolgen.

Verhalten pathogener Bakterien im Boden.

Die Lebensfähigkeit der Bakterien im Boden kam schon damals zur Untersuchung und Diskussion, als Pasteur es für möglich hielt, daß aus vergrabenen Milzbrandkadavern durch Regenwürmer Milzbrandsporen an die Bodenoberfläche gebracht werden, während Koch mit Rücksicht auf die Temperatur im Boden die Möglichkeit einer Sporenbildung im Abrede stellte[42], und dieselbe nur für die oberflächlichsten Bodenschichten, wo die zur Sporenbildung erforderliche minimale Temperatur (15° C.) vorhanden ist, zugab.

Die Untersuchungen von Soyka zeigten dann, daß Milzbrandbacillen (und auch Heubacillen), wenn sie mit der Nährlösung in Erde vermengt werden, rascher zur Sporenbildung schreiten als in Flüssigkeiten[43], vorausgesetzt, daß die Bodenprobe eine gewisse Feuchtigkeit und Wärme besitzt. Als entsprechendster Feuchtigkeitsgrad erwiesen sich zwar 50—75 Porenvolumprozente (= 19,6—29,4 Bodenvolumprozente) Wasser, doch war die Sporenbildung schon bei 10 und selbst bei 150 Porenvolumprozenten (als daher der Boden bereits mit einer freien Wasserschicht bedeckt war) immer noch früher eingetreten als in der Nährlösung. Im Boden kann es — nach Soyka — eventuell schon in 10 Stunden zur Sporenbildung kommen, wodurch der Boden eine konservierende Rolle für den Infektionsstoff des Milzbrandes gewinnt, ohne welche die Bacillen eventuell (infolge von Austrocknung, Fäulnis etc.) zu Grunde gegangen wären. Das bei den Versuchen konstatierte Temperaturoptimum (36—37° C.) kann natürlich im Boden bloß ausnahmsweise (im Sommer) und in der obersten Bodenschicht vorkommen. Bei 20—24° C. trat die Sporenbildung im Boden erst nach 3 Tagen ein, in Flüssigkeit zeigte sie sich aber bei dieser Temperatur nicht einmal nach 6. Tagen.

Auch Uffelmann[45] hat in Knochen von Milzbrandkadavern, welche jedenfalls vor einer Reihe von Jahren verscharrt worden waren, lebensfähige, vollvirulente Milzbrandkeime in großer Zahl konstatiert.

Feltz[44] hat 18 cm hohe Bodenschichten mit Milzbrandkulturen und Milzbrandblut begossen und an der Luft im Regen stehen lassen. Die aus diesem Boden entnommenen Proben waren innerhalb 10 Monaten für Kaninchen und Meerschweinchen ausnahmslos virulent, zwischen 25—36 Monaten auf Kaninchen ohne Wirkung, während die Meerschweinchen noch alle getötet wurden. Demnach vermag der Infektionsstoff des Milzbrandes im Boden, äußerst lange am Leben zu bleiben; allmählich werden aber — nach Feltz — auch die Sporen abgeschwächt.

C. Héjja[46] hat dagegen bei seinen im hygienischen Institut zu Klausenburg ausgeführten Versuchen gefunden, daß Leichen an Milzbrand eingegangener Mäuse, im Freien in 20—30 cm Tiefe vergraben, bloß eine Woche lang virulente Milzbrandbacillen entwickelten; 2 Wochen alte Leichen vermochten nicht mehr zu infizieren, obschon in den Leichenteilen zahlreiche gut färbbare Bacillen zu sehen waren. Die unter und neben den Leichen entnommene Erde war nicht ansteckend. Uebrigens blieben die mit den an der freien Luft aufbewahrten Mäuseleichen angestellten Impfungen schon innerhalb der ersten Woche erfolglos. Aehnliches fand Esmarch[47] an vergrabenen Leichen von an Infektion verendeten Versuchstieren und hält daher das Begraben an Infektionskrankheiten Verstorbener für unschädlich.

Fränkel[48] hat mit Milzbrand geimpfte Agarschälchen auf $1^1/_2$, 2 und 3 m Tiefe in den Boden versenkt; die Milzbrandbacillen ge-

diehen bloß in $1^1/_2$ m Tiefe gut, als hier die Temperatur 16—18° C. betrug; in 2 m Tiefe war das Wachstum schwach, als die Temperatur 14 und 16° erreichte; in 3 m Tiefe, wo die Temperatur im Maximum 17,5° erreichte, zeigte sich nur einmal ein kümmerliches Wachstum (bei 14° C.).

Manfredi und Serafini[49] haben nachgewiesen, daß in den mit Milzbrand geimpften Bodenproben die Kohlensäure thatsächlich zunahm, daß also die verimpften Organismen lebten und sich im Boden vermehrten. Namentlich war die Entwickelung von Kohlensäure an den ersten Tagen nach der Impfung am stärksten und nahm dann wieder ab. Fodor hatte im natürlichen Boden, Möller und Wollny in Bodenproben schon früher beobachtet, daß die Kohlensäureentwickelung auf eine nach längerer Trockenheit durch Regen resp. künstlich erfolgte Befeuchtung anfangs stürmisch anstieg, dann aber abnahm (s. oben S. 112 und 127). Es scheint daher, daß die durch Austrocknung oder andere Ursachen zur Ruhe gezwungenen Bakterien nach der Befeuchtung mit gesteigerten Kräften gedeihen, daß aber diese Wachstumsenergie sich alsbald erschöpft. Diese Erscheinung ist für die Beurteilung des explosionsartigen Ausbruchs und der raschen Abnahme gewisser Epidemien von Wichtigkeit.

Das Verhalten der Typhusbacillen im Boden wurde von Fränkel[50], Grancher und Deschamps[51], De Blasi[52], Uffelmann[53], Würtz und Mosny[54] und von Karlinski[55] studiert. Fränkel sah dieselben in auf $1^1/_2$, 2 und 3 cm Tiefe in den Boden versenkten Agarschälchen selbst bei 9—10° noch gut gedeihen, doch konnte das Wachstum eventuell auch bei 12° ausbleiben. Grancher und Deschamps begossen in einem weiten Metallrohr enthaltene Bodenproben mit Typhuskultur und spülten die Bacillen mit aufgegossenem Wasser in die Tiefe, wobei sich herausstellte, daß die Bacillen auf 40—50 cm hinabgeschwemmt wurden und hier trotz der konkurrierenden übrigen Bacillen $5^1/_2$ Monate lang angetroffen werden konnten. Karlinski hat aber mit Recht ausgestellt, daß die Identifizierung der Typhuskulturen bloß mit der Noeggerath'schen Entfärbungsprobe erfolgte, also nicht verläßlich ist. Karlinski selbst fand in Bodenproben und an in natürlichen Boden versenkten Typhusorganen (durch Kontrollzüchtung auf Kartoffeln), daß die Typhusbacillen im Boden 3 Monate lang am Leben bleiben, mit Exkrementen (also konkurrierenden Bakterien) vergraben aber rascher zu Grunde gehen, endlich in den Bodenschichten länger leben als an der Oberfläche, wo sie der Einwirkung von Sonne und Austrocknung ausgesetzt sind.

Uffelmann hat Gartenerde in Schalen mit Typhusbacillen und Fäkalurin versetzt, verrieben und zeitweise (alle 14 Tage) mit Regenwasser befeuchtet bei 18—23, dann 18—21, 12,5—10, 17—19 und 9—0° an der freien Luft gehalten; die Typhusbacillen waren nach mehr als 5 Monaten nicht nur am Leben, sondern hatten sich auch vermehrt.

Bei den Versuchen von Würtz und Mosny konnten die Typhusbacillen auf 50—60 cm Tiefe in den Boden niedergeschwemmt werden, waren aber, insbesondere in von unten aufsteigendem Wasser, sehr rasch, schon nach 3 Tagen zu Grunde gegangen.

Die Cholerabacillen, von welchen schon Koch und Gaffky nachgewiesen haben, daß sie im feuchten Boden zu leben vermögen, sind wieder von Fränkel, dann D. Cunningham[56], de Giaxa[57], Manfredi und Serafini u. a. untersucht worden. Fränkel fand auch

die Cholerabacillen wenig empfindlich, da dieselben in den Agarschalen in $1^1/_2$ m Tiefe schon bei 10° gut (ein anderes Mal bei 11° nicht), in größeren Tiefen aber bei 12° schon gut gediehen.

de Giaxa sah die Cholerabacillen nur in reinem, sterilisiertem Boden am Leben bleiben; in nicht sterilisiertem Boden waren sie in 1 m Tiefe schon nach 4 Tagen zu Grunde gegangen. Das Bodenmaterial (Gartenhumus, Lehm, Sand) ändere am Verhalten dieser Bakterien nichts. Manfredi und Serafini sahen die Cholerabacillen in sterilisiertem Boden gedeihen, da dieselben Kohlensäure produzierten, und zwar wieder anfangs lebhaft, später in geringerer Menge. Ferner war die Kohlensäureproduktion in kalkhaltigem Boden stärker als in Quarzboden.

Cunningham fand die Cholerabacillen in (sterilisierten?) Bodenproben 5—26 Tage lang entwickelungsfähig.

Von den Tetanusbacillen schreibt Bombicci[58], daß dieselben im Boden langsamer zu Grunde gehen, was offenbar von der Sporenbildung abhängt. Liermann[59] fand den in Erde begrabenen Arm einer an Tetanus verstorbenen Person noch nach $2^1/_2$ Jahren virulent.

In den Versuchen von Héjja[60] war in den vergrabenen Mäuseleichen Microcc. tetragenus nach 3 Wochen, Bacillus sept. mur. (Koch) aber nach 4 Wochen noch virulent.

Von den Infektionserregern der Bodenkrankheit *κατ᾽ ἐξοχήν*, nämlich der Malaria, läßt sich heute noch nichts sagen, da dieselben im Boden noch nicht gefunden wurden.

Nach alledem sind unsere Kenntnisse über das Verhalten der pathogenen Bakterien im Boden noch sehr unzulänglich und primitiv, voll von Widersprüchen und wenig aufgeklärt, selbst mit Bezug auf die Mikroorganismen der sogen. Bodenkrankheiten. Trotzdem darf wohl auf Grund der obigen Daten sowie der biologischen Eigenschaften der hier in Betracht kommenden Bakterienarten und anderer Analogien über die Lebensverhältnisse der wichtigsten pathogenen Bakterienarten (Milzbrand, Typhus, Cholera) im Boden folgendes teils als gewiß, teils wenigstens als wahrscheinlich behauptet werden:

1) Ein allgemeines Gesetz über Wachstum und Vermehrung der pathogenen Bakterien im Boden kann zur Zeit nicht aufgestellt, und die Erfahrungen über die absolute Möglichkeit des Gedeihens und der Fortpflanzung von Bakterien im Boden überhaupt können nicht einfach auf die pathogenen Arten übertragen werden, weil die bisher bekannten Eigenschaften der letzteren von den Lebensbedingungen der gewöhnlichen saprogenen und saprophytischen Arten wesentlich abweichen. Es muß daher das Verhalten der pathogenen Bakterien zum Boden, zu den Tiefen-, Temperatur-, Feuchtigkeits- u. a. Verhältnissen des letzteren gesondert festgestellt werden.

2) Milzbrandbacillen können an der Oberfläche des Bodens während der ganzen warmen Jahreszeit am Leben bleiben und sich auch, eventuell auf feuchtem Boden bei warmer Witterung, aber im Schatten, sogar überaus stark vermehren; andererseits können Austrocknen, Sonne und Licht, direkte heiße Sonnenstrahlen und Konkurrenz mit anderen Bakterien zur Vernichtung der Milzbrandbacillen resp. zur Abschwächung der Virulenz führen, während die in Berührung mit dem Boden erfolgende Sporenbildung schützend und konservierend wirkt.

In den oberflächlichen Bodenschichten vermögen sie besonders zur warmen Jahreszeit am Leben zu bleiben, Sporen zu bilden und sich

sogar zu vermehren. Hierher niedergeschwemmte Sporen können gegen Sonne und Austrocknung konserviert werden, dann an die Oberfläche gelangt, selbst nach längerer Zeit neue Kulturen entwickeln und hierdurch die Infektion der Lokalität erhalten.

Ueber 2 m tief in den Boden vergrabene Milzbrandbacillen oder -sporen haben kaum mehr eine epidemiologische Bedeutung, weil dieselben mangels an Wärme sich nicht vermehren oder auskeimen, und an die Oberfläche oder ins Wasser nur äußerst schwierig gelangen können, sodaß sie höchst wahrscheinlich viel früher zu Grunde gehen werden, als sie hätten schaden können. Doch ist deren Virulenz auch nach Jahren nicht ausgeschlossen, wenn dieselben künstlich an die Oberfläche gebracht werden (Uffelmann).

3) Typhusbacillen werden kaum im stande sein, an der Bodenoberfläche massenhaft sich zu vermehren, weil ihr Wachstum ein langsames ist, sich rasch erschöpft und nicht auf größere Gebiete sich verbreitet. Auch sind sie gegen konkurrierende Bakterienarten und gegen Austrocknen minder widerstandsfähig.

In der oberflächlichen Bodenschicht können aber Typhusbacillen lange, wenigstens einige Monate lang, am Leben bleiben, und wird für sie hier der Sauerstoffmangel nicht nur nicht tötlich, sondern im Gegenteil erst recht günstig sein, gerade so wie im menschlichen Körper, wo die Typhusbacillen auch als Anaëroben leben. Auch der geringere Grad an Wärme schließt ihre Lebensfunktionen nicht aus. Vorteilhaft ist ein feuchter, das Wasser gut bindender Boden mit hohem Grundwasserstand, und in einem solchen Boden können auch Feuchtigkeitsveränderungen auf sie von Einfluß sein, ferner ein Reichtum an organischen Substanzen. Hier können also die Temperatur-, Feuchtigkeits-, Grundwasser- und Verunreinigungsverhältnisse den Typhus beeinflussen. Wenn den Typhusbacillen im Boden überhaupt eine Rolle zukommt, so werden sie diese offenbar in diesen oberflächlichen Schichten am meisten zur Geltung bringen können.

In den tiefen Schichten wird wahrscheinlich auch der Typhus fehlen oder zu Grunde gehen, weshalb auch die Temperatur-, Feuchtigkeits- und Grundwasserverhältnisse in den tiefen Bodenschichten auf den Typhus kaum von Einfluß sein dürften.

4) Cholerabacillen können an der Bodenoberfläche sehr gut in Massen und auf großen Gebieten gedeihen, weil dieselben sich bei vorhandener Feuchtigkeit und Wärme überaus rasch vermehren und ausbreiten. In diesem ersten Ansturm werden sie auch die konkurrierenden Bakterien überwuchern und bedürfen nicht viel Nährstoff, da sie ja auch auf feuchtem Papier und feuchter Wäsche gedeihen. So rasch aber die Cholerabacillen die Oberfläche eines feuchten, verunreinigten Bodens in großem Umkreis überwuchern können, ebenso rasch werden sie auch verschwinden, weil sie die Konkurrenz mit anderen Bakterien nicht bestehen können, und weil ihre Vegetationskraft durch Austrocknen, Sonnenbrand, Abkühlung und vielleicht auch durch Licht bald gebrochen wird. Das Wachstum der Cholerabakterien kann also durch Witterungseinflüsse, wie Regen und Wärme, plötzlich angefacht, durch Trockenheit und Kühle aber ebenso rasch gedämpft werden. Wenn die Cholerabacillen im Boden überhaupt eine Rolle spielen, so ist offenbar die Bodenoberfläche der geeignetste Schauplatz dazu.

In den oberfächlichen Bodenschichten begegnet ihr Wachstum schon mehr Schwierigkeiten; hier reichen Sauerstoff und Wärme für eine rasche Vegetation nicht aus, und auch die räumliche Ausbreitung ist erschwert und verlangsamt.

Daß die Cholerabacillen in den tiefen Schichten gedeihen würden, läßt sich derzeit kaum vorstellen. Vermöge ihrer geringen Lebenskraft und anderer Eigenschaften werden sie in diese tieferen Schichten überhaupt nicht hinuntergelangen und hier nicht bestehen können.

Demnach werden die in den oberen und tieferen Bodenschichten verlaufenden, langsam thätigen Kräfte (Schwankungen von Grundwasser, Feuchtigkeit und Temperatur) in den Lebensprozessen der Cholerabacillen im Boden kaum eine Rolle spielen.

4. Auswanderung der Bodenbakterien.

a) Wanderung in die Luft.

Die im Boden ansässigen, konservierten oder gezüchteten Bakterien können auf verschiedenen Wegen in die Luft, ins Wasser, in Wohnungen und überhaupt an Orte gelangen, wo eine Invasion des menschlichen Körpers stattfinden kann. So werden von der Bodenoberfläche durch Zerstäubung, Winde, die mechanische Einwirkung verkehrender Menschen und Tiere, Verschleppung mit der Fußbekleidung und mit auf dem Boden umherliegenden oder in demselben gewachsenen Gegenständen, durch Ablagerung von Staub in Wasser oder Nahrungsmittel Bakterien in unsere Nähe oder in unseren Körper hineingelangen können.

Ob auf einzelnen dieser Wege eine Infektion oft stattfindet, und auf welchem, das zu erforschen, ist die Epidemiologie berufen. In der Bodenhygiene genügt es, zu konstatieren, daß Bakterien von der Bodenoberfläche offenbar und unzweifelhaft auch zum Menschen gelangen können.

Schon viel schwieriger ist die Frage zu entscheiden, ob dasselbe auch für die im Innern des Bodens befindlichen Bakterien der Fall ist. Anfangs wurde angenommen, daß Bakterien entweder durch aufsteigende Grundluftströme an die Oberfläche gewirbelt oder im Gegenteil durch niedergehende Meteorwässer oder sinkendes Grundwasser in die Tiefe, in Brunnen getragen werden und auf diesen Wegen aus dem Boden in den menschlichen Körper gelangen können. Miflet[61] soll es gelungen sein, in der aus dem Boden aspirierten Luft Bakterien nachzuweisen. Fodor[62] hat hingegen sterilisierte Klebs'sche Nährlösung unter einem im Freien aufgestellten Glassturz gehalten und durch diesen kontinuierlich Luft vom Boden her aspiriert und trotz dem während mehrerer Monate langen Stehen bloß eine Pilzkolonie sich entwickeln sehen, im übrigen blieb die Nährlösung steril. Dann haben Nägeli[63], Pumpelly[64], Miquel[65] und Emmerich[66] nachgewiesen, daß die Luft schon durch eine sehr geringe, aber feuchte Bodenschicht vollkommen filtriert und bakterienfrei wird, und Emmerich sah die Bakterien bloß durch einen austrocknenden Boden durchdringen. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten später auch andere Forscher (Buchner, Renk, Petri u. a.), die aus dem natürlichen Boden oder durch Bodenproben Luft aspirierten und diese keimfrei fanden.

Doch kann man sich auch mit diesen negativen Versuchsergebnissen nicht zufrieden stellen, weil die epidemiologische Erfahrung (s. unten) zu augenfällig darauf hinweist, daß gewisse Infektionen, z. B. bei Malaria, durch aus dem Innern des Bodens aufsteigende Organismen verursacht werden. Wir verfügen auch sonst über einige experimentelle Grundlagen, die uns gestatten, ein Aufsteigen von Bakterien in die Luft uns vorzustellen, obschon dies derzeit noch nicht positiv bewiesen werden kann. Diese Grundlagen liefern uns die Untersuchungen von Buchner und Soyka.

Buchner[67]) hat auf die physikalische Thatsache hingewiesen, daß, wenn in einem mit Flüssigkeit gesättigten Boden der Flüssigkeitsspiegel sinkt, die in der unmittelbar oberhalb befindlichen Bodenschicht zwischen den Erdepartikeln vorhandene kapillare Flüssigkeit immer dünner wird und sich in Flüssigkeitslamellen umwandelt, welche endlich platzen, wobei ein Teil der in der Lamelle enthaltenen Flüssigkeit staubartig umherspritzt und in die Grundluft gelangt, durch welche sie fortgetragen werden kann. Waren in der bewußten Flüssigkeit Bakterien enthalten (was in einem verunreinigten Boden nur zu sicher anzunehmen ist), so werden auch diese mit der Grundluft fortgetragen.

Es ist klar, daß dieses Zerplatzen von kapillaren Wasserblasen nicht nur beim Sinken des Grundwassers, sondern jedesmal stattfinden wird, wenn die Bodenfeuchtigkeit beim Austrocknen oder Vordringen des Wassers in den Kapillarröhrchen abnimmt, also auch bei Regenfällen in der Spur des niedergehenden Wassers; andererseits kann aber auch ein auf diese Weise stattfindendes Austreten von Grundluft und Bakterien aus dem Boden nur dann angenommen werden, wenn die kapillaren Wasserlamellen nahe zur Oberfläche bersten, weil sonst die verspritzten Bakterien wieder durch die Bodenschicht abfiltriert würden. Man kann sich also diesen Prozeß in den oberen Bodenschichten sowohl bei auf Regenfälle folgender Trockenheit, als bei auf einen hohen Stand folgendem raschen Sinken des Grundwassers vorstellen.

Soyka[68] behauptet auf Grund seiner Versuche, daß, wenn man Röhren mit reinem, sterilisiertem Boden füllt und in pilzhaltige Flüssigkeiten taucht, die betreffenden, in den Flüssigkeiten vorhandenen Pilze sich, entsprechend dem kapillaren Aufsteigen des Wassers, im Boden nachweisen lassen, ohne daß bei der kurzen Zeit, innerhalb welcher das Ansteigen erfolgt und gleichzeitig der Nachweis der Pilze möglich ist, an ein Durchwachsen durch den Boden hindurch gedacht werden könnte. Innerhalb 24—48 Stunden und noch früher wurden Strecken bis zu 20 cm gleichzeitig von der Flüssigkeit und den darin suspendierten Pilzen (Mäuseseptikämie, Milzbrand, Kommabacillen, der Cholera u. s. w.) zurückgelegt.

Soyka gelangt nun auf Grund dieser experimentell beobachteten Thatsachen zu folgenden Schlußsätzen:

Bei einer lang andauernden Austrocknung des Bodens muß sich für eine bestimmte Zeit eine ziemlich ununterbrochene kapillare Wasserleitung aus tieferen Bodenschichten nach der Bodenoberfläche etablieren. Mit diesem Flüssigkeitsstrome können nun reichlich Pilze an die Oberfläche gelangen, — aber nicht etwa bloß Pilze, die sich im Grundwasser befinden; sondern, wo überhaupt in irgend einer Bodenschicht, die von dem aufsteigenden Kapillarstrome innerhalb des Bodens getroffen wird, die sich also zwischen Grundwasser und Bodenoberfläche befinden, Pilze

vorkommen, werden sich diese der aufsteigenden Strömung anschließen und so an die Oberfläche gelangen können.

Diese von Buchner und Soyka hervorgehobenen und beleuchteten Bodenverhältnisse lassen, einander ergänzend, die Ansicht als genügend plausibel erscheinen, daß, während einerseits die aus der Tiefe gegen die Bodenoberfläche gewöhnlich bestehenden kapillaren Feuchtigkeitsströme die etwa früher durch Regen hinabgeschwemmten Bakterien — wenigstens zum Teil — wieder näher zur Oberfläche hinauffördern oder die in den tieferen Schichten vermehrten Bakterien hierher bringen, andererseits bei nahe zur Oberfläche stattfindender Austrocknung die platzenden Flüssigkeitslamellen jene aus dem Boden stammenden Bakterien durch die bereits trockene oberste Bodenschicht mit Hilfe der Grundluft in die über der Bodenoberfläche stehende Luftschicht gelangen lassen[69]. Daß aber hierzu die Bodenverhältnisse im Herbst, dann Abends und in der Nacht am günstigsten sind, kann man auf Grund früherer Ausführungen konstatieren.

Wir dürfen aber auch die den Soyka'schen widersprechenden Versuchsergebnisse von Pfeiffer[70] nicht verschweigen, wonach die Bakterien durch aufsteigende Kapillarströme kaum um 4 cm gehoben werden, woraus man folgern müßte, daß den Kapillarströmen als Fördermitteln von Bakterien auf die Oberfläche und in die Nähe der Menschen bei weitem nicht die ihnen von Soyka zugeschriebene Wichtigkeit zukommt. Neuere und sorgfältige Versuche in dieser Richtung wären sehr erwünscht.

Bei der Förderung von Bakterien auf die Bodenoberfläche hat Pasteur[71] auch den Regenwürmern, neben Milzbrandkadavern, eine Rolle zugesprochen. Eine weitere Bedeutung dürfte dieses Moment für die vorliegende Frage kaum haben. Viel wichtiger ist das Aufgraben und Aufwühlen des Bodens bei Kanalisations-, Straßenpflasterungs- und Feldarbeiten, da hierdurch Bakterien bestimmt an die Oberfläche und in unsere Nähe gelangen können. Obschon es uns an experimentellen Angaben mangelt, welche illustrieren würden, wie die Bakterien bei solchen Gelegenheiten an die Luft gelangen und — in Berührung mit der Luft — vielleicht auch rasch sich vermehren, so spricht die epidemiologische Erfahrung doch für die Thatsache, daß ein Aufwühlen des Bodens häufig von Infektionen gefolgt war (s. unten), welche ganz gut dadurch können erklärt werden, daß aus dem aufgedeckten Boden pathogene Bakterien entflogen und in den menschlichen Körper gelangt sind.

b. Wanderung der Bodenbakterien in das Grundwasser.

Nicht minder schwierig ist es, die Art und Weise aufzuklären, wie Bakterien ins Grundwasser (also eventuell in Brunnen) gelangen. Die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen, wie im Obigen zu sehen war, daß Bakterien nur überaus langsam in die tieferen Bodenschichten und somit auch in das Grundwasser hinabgeschwemmt werden, daß sie inzwischen auch ihre Lebensfähigkeit einbüßen, wie dies daraus hervorgeht, daß der Boden in 2 m Tiefe steril gefunden wurde. Die Versuche Fränkel's[72] mit Grund-(Brunnen-)Wasser beweisen geradezu, daß Bakterien thatsächlich in ein nur etwas reineres und tiefer stehendes Grundwasser nur selten hinabgelangen können. Trotzdem

kann nicht geleugnet werden, daß unter günstigen Verhältnissen, so z. B. bei hohem Stand oder Ansteigen des Grundwassers, ferner in einem Boden mit geringer Filtrier- und Bindekraft (Kies) die Möglichkeit für das Vordringen von Bakterien bis zum Grundwasser doch gegeben ist.

Dieses Vordringen von Bakterien in die Tiefe und ins Grundwasser kann auch durch zufällige Momente bewirkt werden. Ganz abgesehen von Fällen, wo Brunnen offen stehen und Bakterien von der Oberfläche durch Luftströme mit dem Staub aufgewirbelt und in den Brunnen gestreut, hier aufs neue befeuchtet, zu üppigem Wachstum angeregt werden, — ferner von Fällen, wo in der mangelhaften Konstruktion der Brunnen die Möglichkeit gegeben ist, daß Bakterien mit den in den Höfen vergossenen und auf Kehrichthaufen angesammelten Abfallstoffen durch Einsickern leicht in den Brunnenschacht und weiter ins Brunnenwasser gelangen können, was insbesondere bei Regenwetter geschehen kann, will ich nur hervorheben, wie häufig der Boden, gerade in der Nähe von Brunnen und Abtrittgruben, durch unter der Oberfläche lebende Tiere, wie Ratten, Maulwürfe, ferner Insekten, Regenwürmer u. s. w., durchwühlt und gelockert wird. Dadurch können direkte Bohrgänge zwischen Abtrittgruben und Düngerhaufen und den Brunnen etabliert werden, und ist es gar nicht notwendig, daß dieselben bis zum Grundwasserspiegel hinabreichen, denn wenn die direkte Kommunikation vom Abtritt durch die obere Bodenschicht nur bis zur Brunnenmauer führt, werden schon Schmutz und Bakterien hier einsickern können und dann an der Wand entlang bis ins Wasser hinabgeschwemmt werden. (Vergl. S. 133.)

Ob die in das Grund- oder Brunnenwasser gelangten Bakterien hier leben resp. sich vermehren können, darüber kann man sich nur mit der größten Umsicht und Reserve und auch so nur annähernd äußern. Offenbar werden die Verhältnisse hier für das Brunnen- und das Grundwasser, ferner je nach Beschaffenheit und Temperatur des Wassers und endlich auch für die einzelnen Bakterienarten verschieden liegen.

Im Grundwasser werden aërobe Bakterienarten sich nicht so leicht erhalten können, wie in dem der Luft zugänglichen Brunnenwasser (bei offenen Brunnen), wo es eventuell sogar zu Vermehrung kommen kann. Gegen Temperatur-Verhältnisse empfindliche Bakterienarten müssen sich in dem oberflächlichen und daher im Sommer und gegen Herbst warmen Grund- resp. Brunnenwasser anders verhalten als in dem konstant kälteren, tieferen Wasser, ferner anders im stagnierenden als in einem in lebhafter Bewegung, in Strömung befindlichen Grund- oder Brunnenwasser; anders in einem Wasser, welches mehr organische Substanzen und gewisse Salze und Kohlensäure in größerer Menge enthält als andere. Endlich werden sich Cholera- und Typhusbacillen anders verhalten als andere Bakterienarten.

Alle diese Fragen sind bisher nur primitiv und ungenügend untersucht. Die Würdigung dieser Thatsachen und der Rolle des Wassers bei der Konservierung und Vermehrung der Bakterien, sowie bei der Vermittelung von Infektionen gehört in das Kapitel der Wasserhygiene.

c) Eindringen der Bodenbakterien in Wohnungen.

Dem Eindringen der Bodenbakterien in Wohnungen stellen sich,

wie obige Ausführungen beweisen, große Hindernisse in den Weg, doch kann dasselbe nicht geleugnet werden. Die Feuchtigkeit kann Bodenbakterien auch mit Zuthun der Kapillarität durch die Mauern in die Häuser fördern, wo dieselben leicht in den menschlichen Organismus eindringen können; dasselbe kann, innerhalb der geschilderten Begrenzung, auch durch Vermittelung der Grundluft stattfinden.

Daß die an der Bodenoberfläche zerstäubten oder mit der Grundluft in die Atmosphäre aufgestiegenen Bakterien durch Fenster und Ventilationswege in die Wohnungen gelangen können, versteht sich wohl von selbst.

5. Anderweitige Infektionsstoffe des Bodens.

Unsere Kenntnisse und unsere Auffassung bezüglich des Vorganges bei einer Infektion, resp. bezüglich des Krankwerdens an einer sog. infektiösen Krankheit sind insofern noch sehr mangelhaft, als wir gewohnt sind, die Schädlichkeiten immer nur in den Bakterien und namentlich in deren Leibern zu suchen, und an etwas anderes kaum denken, andere Gestaltungen der Schädlichkeitsquellen beinahe ganz außer acht lassen. Und doch ist es keineswegs ausgeschlossen, daß z. B. ein verunreinigter Boden nicht nur dadurch gesundheitsschädlich wirkt, daß er die Bakterien selbst in den menschlichen Organismus gelangen läßt, sondern eventuell auch durch die festen und vielleicht auch gasartigen Produkte der Bakterien, welche den infizierten Boden durchsetzen. Haben doch neuere Untersuchungen für die meisten pathogenen Bakterien nachgewiesen, daß dieselben nicht nur an sich, sondern auch dadurch schädlich wirken, daß sie toxisch wirkende Substanzen produzieren (Cholera, Typhus, Tetanus u. s. w.), und daß namentlich diese Stoffe schon in den geringsten Mengen die Symptome der betreffenden Krankheiten hervorrufen. Daher liegt auch die Möglichkeit sehr nahe, daß in einem verunreinigten, in Fäulnis begriffenen, resp. von pathogenen Bakterien überschwemmten Boden Ptomaïne und Toxine ebenso — und noch dazu in ausgedehnterem Maße — gebildet, als selbe im Kleinen in unseren Kulturfläschchen entwickelt werden. Den weiteren Uebergang der so gebildeten Bakteriengifte aus dem Boden in den Tierkörper kann man sich am besten durch Vermittelung des Grund- resp. Brunnenwassers vorstellen.

Ob solche Ptomaïne und Toxine aus dem infizierten Boden wirklich in das Trinkwasser gelangen, das zu erörtern, gehört ins Kapitel Wasser. Ich will hier bloß erwähnen, daß Herr Keyso Tamba aus Tokio sich in meinem Institut längere Zeit mit der Darstellung von Ptomaïnen aus an organischen Substanzen reichem verunreinigten Brunnenwasser, aber ohne Erfolg, beschäftigt hat. Die Frage erfordert unbedingt weitere Versuche.

Noch mangelhafter sind unsere Kenntnisse über die Frage, ob nicht Bakterien im Boden etwa flüchtige toxische Substanzen produzieren können. In meinem Institut in dieser Richtung angestellte Versuche haben zu ganz negativen Ergebnissen geführt, und sind mir positive Versuchsresultate auch von anderen Forschern nicht bekannt; trotzdem meine ich, sei das Offenhalten dieser Frage berechtigt, da die Untersuchungen von Brown-Séquard und d'Arsonval betreffend flüchtige Ptomaïne — obschon denselben von mehreren Seiten widersprochen wurde, und auch

meine schon Jahre vor der Veröffentlichung der Brown-Séquardschen Mitteilung angestellten ähnlichen Versuche zu negativen Resultaten führten — doch auch, wenigstens teilweise positive Bestätigung fanden, so z. B. neuestens von Merkel[73].

Wenn die Bildung flüchtiger Ptomaïne wirklich möglich ist, so wird zur Erzeugung großer Mengen besonders im verunreinigten Boden, bei der großen Ausdehnung und Intensität der hier verlaufenden Zersetzungsprozesse, reichliche Gelegenheit vorhanden sein. Flüchtige Ptomaïne könnten gleichzeitig mit der Grundluft in die Atmosphäre und in die Wohnungen gelangen.

Ein mit menschlichen, tierischen oder vegetabilischen Stoffen verunreinigter Boden könnte auch dadurch schädlich werden, daß in demselben nicht nur Bakterien, sondern auch andere niedere Organismen mit Infektions- oder Invasionsfähigkeit sich entweder bloß aufhalten oder frei werden, oder gar gezüchtet werden können. So sprechen z. B. hinsichtlich des mit menschlichen Stoffen verunreinigten Bodens gewisse Anzeichen dafür, daß der vom Menschen entleerte Infektionsstoff der Dysenterie auf oder in dem Boden verborgen sein und von dort auf den gesunden Menschen gelangen könne. Auch die Anchylostomiasis und Anämie der Bergleute und Ziegelarbeiter wird durch den mit Eiern von Anchylostomum duodenale verunreinigten Boden vermittelt[74]. Auf diese Weise können durch Vermittelung des Bodens offenbar auch mehrere andere parasitäre Krankheiten unterhalten und verbreitet werden.

Daß der mit vegetabilischen Substanzen verunreinigte Boden den Infektionserregern der Malaria als Zuchtstätte dient, kann bestimmt behauptet werden, obschon es nicht gelungen ist, dieselben aus dem Boden zu isolieren, und es daher derzeit nicht möglich ist, den Lebenslauf der Malariaorganismen im Boden, sowie die Art und Weise, wie sie von dort zum Menschen gelangen, zu beleuchten.

1) *Fünfter Jahresber. d. Land. Med.-Koll. etc., Dresden* (1875) 183.
2) *Annuaire de l'Observatoire de Montsouris* (1879).
3) *Mitteil. aus d. kais. Gesundheitsamte* 1. *Bd.* (1881).
4) *Deutsche med. Woch.* (1886).
5) *Baumgarten's Jahresber.* (1886).
6) *Giorn. della R. Accad. di med.* (1887).
7) *Z. f. Hyg.* (1887).
8) *Z. f. Hyg.* (1889).
9) *Z. f. Hyg.* (1890).
10) *Verhalten der Bakterien im Boden Dorpats, Dorpat* (1890).
11) *Baumgarten's Jahresber.* (1887).
12) *Allg. med. Centr.-Ztg.* (1875) *No.* 38.
13) *Comptes Rendus* (1877) *I* 301, *II* 1018.
14) *Chem. Centrbl.* (1879) 217.
15) *V. f. ger. Med.* (1877, 1878).
16) *Chem. Centrbl.* (1879) 232, 439.
17) *Landw. Versuchsstat.* (1880) 390.
18) *Hyg. Unters. über Luft, Boden u. Wasser, II. Abt.*
19) *Tagebl. der* 59. *Naturforsch.-Versammlg.* 289.
20) *A. f. Hyg.* 4. *Bd.* 82.
21) *V. f. ger. Med.* (1891).
22) *Tagebl. d.* 59. *Naturforsch.-Versammlg.*
23) *Landw. Versuchsstat.* 35. *Bd.* 256.
24) *A. f. Hyg.* (1884).
25) *Z. f. Hyg.* 1. *Bd.*
26) *Acad. dei Lincei* (1886).
27) *Chem. Centrbl.* (1889).
28) *Proceed. of the Roy. Soc.* (1890).

29) *Annales de l'Instit. Pasteur* (1891).
30) *Comptes Rendus XCV.*
31) *C. f. Bakt.* (1889).
32) *C. f. Bakt.* (1892).
33) *Z. f. phys. Chem.* 10. *Bd.*
34) *Z. f. Hyg.* 5. *Bd.*
35) *Bull. de l'Acad. de méd.* (1881).
36) *Mitteilg. aus d. Kais. Gesundheitsamte* 1. *Bd.*
37) *Deutsche med. Woch.* (1884).
38) *Semaine méd.* (1885).
39) *Comptes Rendus CVI.*
40) *Arch. f. exper. Path. u. Pharm.* 11. *Bd.*
41) *Daselbst* 15. *u.* 16. *Bd.*
42) *Mitt. aus d. k. Ges.-Amte* 1. *Bd.* 64.
43) *Fortschritte d. Mediz.* (1886).
44) *Comptes Rendus CII.* (1886).
45) *Uffelmann's Jahresbericht* (1890) 152.
46) *Orvosi Hetilap* (1885) *und Orvos-Természettudományi Értesítö* (1885). [*Ungarisch.*]
47) *Z. f. Hyg.* 7. *Bd.*
48) *Z. f. Hyg.* 2. *Bd.* 579.
49) *A. f. Hyg.* 11. *Bd.* 1.
50) *a. a. O.*
51) *Arch. de méd. exp.* (1889) 1. *Bd.*
52) *Baumgarten's Jahresber.* (1889).
53) *C. f. Bakt.* 5. *Bd.*
54) *Rev. d'hyg.* 11. *Bd.*
55) *A. f. Hyg.* 13. *Bd.* 3. *Ferner C. f. Bakt.* 6. *Bd.*
56) *Uffelmann's Jahresber.* (1889).
57) *C. f. Bakt.* (1890).
58) *C. f. Bakt.* (1891) 2. *Bd.* 21.
59) *A. f. exp. Path. XXVII.*
60) *a. a. O.*
61) *Beitr. z. Biol. d. Pflanzen* 3. *Bd.*
62) *Luft, Boden u. Wasser.*
63) *Die niederen Pilze, München* (1877).
64) *Report of the National Board of Health, Washington* (1881).
65) *Les organismes vivants dans l'atmosphère, Paris* (1883).
66) *A. f. Hyg.* 4. *Bd.*
67) *Ctrbl. f. d. med. Wiss.* (1882).
68) *Prager med. Wochenschr.* (1885); *ferner s.* **Soyka**, *Der Boden* (1887) 221.
69) *Vgl. auch* **Renk**, *A. f. Hyg.* 4. *Bd.* 27.
70) *A. f. Hyg.* 4. *Bd.* 241.
71) *Acad. de méd.* (1881); *s. auch* **Feltz**, *C. R. XCV*; **Bollinger**, *Arb. aus d. path. Instit. München* (1886). *Dagegen*: **Koch**, *Mitt. aus d. kais. Ges.-Amte* 1. *Bd.*
72) *Zeitschr. f. Hyg.* 6. *Bd.* 23.
73) *Arch. f. Hyg.* (1892). *Vergl. auch* **Beu** *in Z. f. Hyg.* 14. *Bd.* *Dagegen* **Bauer**, *ebendas.* 15. *Bd.*
74) **Concato** *et* **Perroncito**, *Comptes Rendus* (1880) 1. *Bd.* — **Perroncito**, *Comptes Rendus* (1882) 1. *Bd. u. s. w.*

SIEBENTES KAPITEL.

Einwirkung der Bodenverhältnisse auf die öffentliche Gesundheit.

A. Der Boden in seinen Beziehungen zu epidemischen und endemischen Krankheiten.

Eine große Anzahl von Krankheiten des Menschen und der Tiere soll, den herrschenden Anschauungen zufolge, mit dem Boden in einem unmittelbaren Kausalnexus stehen, von dem mittelbaren ursächlichen Zusammenhang, welcher beinahe für jede Krankheit selbstverständlich abgeleitet werden kann, gar nicht zu sprechen. Zu diesen sogenannten Bodenkrankheiten gehören vor allem die Malariafieber mit ihren geographischen Abarten und Formen, dann das Gelbfieber, die Cholera, die Beulenpest, der Abdominaltyphus, gewisse Diarrhöen, die Dysenterie, ferner gewisse chronische endemische Krankheiten, wie Kropf und Kretinismus. Außerdem stehen aber noch viele andere Krankheiten in ursächlichem Zusammenhang mit dem Boden, wie z. B. Tetanus, Milzbrand, Rauschbrand, das maligne Oedem, verschiedene septische Prozesse (darunter auch die Puerperalsepsis), und sogar die Tuberkulose, die Infektionspneumonie etc., sowie gewisse endemische parasitische Leiden, z. B. die Anchylostomiasis.

Die eingehende Erörterung des Verhältnisses, in welchem jede einzelne dieser Krankheiten zum Boden steht, würde die diesem Werke gesteckten Grenzen weit überschreiten. Ich beschränke mich daher hier darauf, nur die wichtigsten „Bodenkrankheiten" in ihrem Verhalten zum Boden zu untersuchen, um hierdurch die Rolle des Bodens gegenüber Krankheiten und Epidemien zu beleuchten.

1. Die Kriterien der Bodeneinflüsse auf en- und epidemische Krankheiten.

a) Oertliche und zeitliche Disposition.

Die Ansicht, daß der Boden und seine verschiedenen Verhältnisse auf en- und epidemische Krankheiten von Einfluß sein können, wurde

hauptsächlich durch Beobachtungen geweckt, welche Pettenkofer klar und gemeinverständlich als örtliche und zeitliche Disposition der betreffenden Krankheiten bezeichnete.

Unter örtlicher Disposition verstehen wir die Abhängigkeit der Ausbreitung einer Krankheit von einem bestimmten Areal, z. B. von einem Lande, von einer Stadt, von einem Hause.

Oertlich disponiert ist ein Gebiet, wenn auf demselben eine gewisse Krankheit relativ mehr vorherrscht als auf einem anderen Gebiete; eine Krankheit zeigt örtliche Disposition, wenn sie auf einem Gebiet (Areal), in einem Orte sich relativ weiter auszubreiten vermag als auf anderen.

Wenn wir nun sehen, daß eine Krankheit die Bewohner eines umschriebenen Gebietes im Vergleich zu anderen Gebieten besonders heftig ergreift oder im Gegenteil auffallend verschont, so müssen wir annehmen, daß die Krankheit auf jenem Gebiete durch spezifische, an anderen Orten nicht vorhandene Ursachen und Eigenschaften unterstützt, resp. verbreitet wird.

Diese, die Verbreitung einer Krankheit fördernden oder behindernden Eigenschaften eines Gebietes oder Ortes müssen aber offenbar an die fixen Komponenten der Oertlichkeit gebunden sein und nicht an den Luftkreis, welcher rasch von Ortschaft zu Ortschaft zieht und Infektionsstoffe zu produzieren kaum geeignet sein dürfte, — auch nicht an die Nahrung, welche nach Ortschaften wenig differiert, sowie nicht an Kleidung und Volksrasse, sondern an etwas anderes, namentlich an den Boden, als den ureigensten Bestandteil einer Ortschaft oder eines Hauses, mit welchem die Lebensverhältnisse des Menschen so eng verbunden sind, und welcher uns schon a priori als eine geeignete Sammel- und Konservierungs- oder gar Brutstätte der Infektionsstoffe ansprechen wird.

Immerhin bleibt aber die thatsächliche Abhängigkeit einer Krankheit vom Boden, also die örtliche Disposition — oder um noch präziser zu sprechen, die Bodendisposition — erst noch positiv nachzuweisen, wenn auch die Krankheit eine auffallende, örtliche Begrenzung zeigt. Es ist das eine sehr schwierige epidemiologische Aufgabe. Denn offenbar wird nicht bloß der Boden örtlich auf die Verbreitung einwirken können, sondern noch manches andere, was mit dem Boden überhaupt nichts zu thun hat, so z. B. der Zustand der Wohlhabenheit, Reinlichkeit und Ernährung der Bevölkerung an einem bestimmten Orte, ferner Unterschiede und Eigentümlichkeiten in der Wasserversorgung verschiedener Ortschaften, dann die Ansammlung von gewissen Lebensbedingungen unterworfenen Personen in Gefängnissen, Irrenanstalten, Klöstern, die von der Kommunikation abgesperrt sind, andererseits das Zusammenströmen von Marktbesuchern oder Pilgern, ferner die Verschiedenheit der Kommunikationsverhältnisse (Verschleppung nach Orten, die an Eisenbahnen und Wasserstraßen liegen, im Gegensatze zu abgelegenen Städten mit zerstreuter Bevölkerung, z. B. in Gebirgsdörfern) u. s. f.

Um also nachweisen zu können, daß die örtliche Disposition thatsächlich vom Boden abhängt, muß man zunächst alle anderen zwar auch örtlichen, aber nicht an den Boden gebundenen Verhältnisse ausschließen; wenn dann die örtliche Verbreitung der Krankheit auch noch auf bestimmte Bodenverhältnisse zu beziehen ist, so kommt das der Beweisführung sehr zu statten.

Als solche Bodenverhältnisse sind uns bereits die Oberflächenformation und Struktur, die Wärme-, Feuchtigkeits- und Verunreinigungsverhältnisse des Bodens bekannt.

Ein nicht minder wichtiges Kriterium für die Annahme der Abhängigkeit einer Krankheit vom Boden liefert der Nachweis, daß diese Krankheit einer zeitlichen Disposition unterworfen, d. h. daß sie an gewisse Zeiträume gebunden ist, da die wichtigsten und augenfälligsten zeitlichen Veränderungen nicht in der Ernährung, Kleidung und den Verkehrsverhältnissen einer Bevölkerung u. s. w., sondern im Boden verlaufen. Doch können auch hier offenbar nicht ausschließlich die zeitlichen Verhältnisse des Bodens auf den zeitlichen Verlauf der Seuche einwirken, sondern auch andere, hiervon ganz unabhängige Verhältnisse, wie z. B. das zeitweilige Zusammenströmen disponierter Individuen an gewissen Orten, Einrücken von Rekruten, Eintreffen von Schülern zu gewissen Zeiten in gewisse Orte, Märkte und Pilgerfahrten zu gewissen Zeiten an gewissen Orten, das Zusammendrängen der Bevölkerung in die Wohnungen zur kalten, und der Aufenthalt und das zerstreute Leben im Freien zur warmen Jahreszeit, anstrengende Arbeit, militärische Manöver zu gewissen Zeiten. Die hohe Temperatur im Sommer vermag z. B. auch dadurch eine zeitliche Disposition zu erzeugen, daß sie nicht bloß den Boden, sondern auch das Wasser, die Nahrungsmittel und den Schmutz in Straßen, Höfen und Häusern zur Züchtung von Infektionsstoffen geeignet macht. (Vergl. S. 157.)

Man wird also, wenn man die Abhängigkeit der zeitlichen Disposition vom Boden nachweisen will, zuerst die Rolle aller dieser wohl auch örtlich-zeitlichen, aber nicht zu den Bodenverhältnissen gehörigen Faktoren auszuschließen haben und wieder dann mit besonderem Nachdruck argumentieren können, wenn man positiv nachweist, daß das zeitliche Verhalten der Krankheit auch mit den zeitlichen Verhältnissen des Bodens zusammenhängt, von welchen uns bisher die zeitlichen Schwankungen in der Erwärmung und Durchfeuchtung des Bodens, im Grundwasserstand, in der Permeabilität und den Zersetzungsprozessen des Bodens, im Verhalten der Grundluft, den Mikroorganismen des Bodens u. a. als die wichtigsten bekannt sind.

Bei der Erforschung der Rolle, die dem Boden gegenüber gewissen Krankheiten zukommt, haben wir daher derzeit in erster Reihe die erwähnten örtlichen und zeitlichen Bodenmomente mit dem örtlichen und zeitlichen Verhalten der Krankheit zu konfrontieren.

b) Kontagiöse und miasmatische Krankheiten.

Die durch örtliche und zeitliche Bodenmomente beeinflußten Krankheiten können gewiß nicht einfach kontagiös sein in dem Sinne, daß die Vermehrung des Infektionsstoffes im menschlichen (oder Tier-) Körper stattfindet (**endogene** Erzeugung des Infektionsstoffes nach Pettenkofer). Es ließe sich nämlich gar nicht verstehen, auf welche Weise die Produktion und Verbreitung dieses endogenen Infektionsstoffes durch die erwähnten örtlichen und zeitlichen Bodenverhältnisse beeinflußt werden sollte. Denn wenn der Infektionsstoff den Organismus in fertigem Zustand verläßt, muß ein jeder die Krankheit bekommen können, der mit dem Krankheitsstoff in Berührung trat, und diese Berührung kann von der Konfiguration, Struktur, Feuchtig-

keit, Verunreinigung und Wärme des Bodens nicht oder nur wenig reguliert werden.

Wenn man aber sieht, daß eine Krankheit an gewissen (z. B. an reinen, trockenen, erhöhten) Orten und zu gewissen Zeiten (im Winter und Frühjahr) trotz dem Vorhandensein von Infektionsstoff und trotz Berührung und Kommunikation sich nicht oder nur wenig ausbreitet, daß aber an anderen (z. B. tief gelegenen, feuchten, verunreinigten) Orten und zu anderen Zeiten (im Sommer und Herbst) diese Ausbreitung stattfindet: so muß der Infektionsstoff offenbar unter der Mitwirkung einer außerhalb des menschlichen Körpers gelegenen Ursache erzeugt oder virulent gemacht, oder einfach vermehrt werden, und dies muß in erster Reihe in demjenigen Medium stattfinden, welches in der Umgebung des Menschen zur Erhaltung und auch zur Reproduktion des organischen Lebens am meisten geeignet ist, und mit dessen Verhältnissen auch die Verbreitung der fraglichen Krankheit übereinstimmte: dies ist der Boden. Man ist also anzunehmen gezwungen, daß der Infektionsstoff unter solchen Umständen im Boden erzeugt, reproduziert oder modifiziert (gereift, gekräftigt) wird, also außerhalb des menschlichen Körpers lebt und sich vermehrt oder entwickelt (**ektogene** Erzeugung nach Pettenkofer). Die auf endogenem Wege erzeugten Infektionsstoffe nennt man — nach der alten Nomenklatur — **Kontagien**, die in der Umgebung des Menschen (ektogen) erzeugten oder modifizierten aber **Miasmen**. Dementsprechend werden auch die durch die betreffenden Stoffe hervorgerufenen Krankheiten kontagiöse, resp. miasmatische genannt.

Aus der Biologie der infektiösen Organismen (Bakterien) ist uns aber wohl bekannt, daß deren mehrere Arten sowohl im menschlichen (Tier-) Körper als außerhalb desselben zu leben und sich auch zu vermehren vermögen, und daß sie ihre Virulenz in beiden Fällen unverändert erhalten können. Milzbrandbacillen — um uns der am besten erforschten Infektionserreger als Beispiel zu bedienen — vermögen nicht nur dann anzustecken, wenn wir sie aus einem infizierten Tiere als endogenen Infektionsstoff, als Kontagium entnommen haben, sondern auch dann. wenn sie außerhalb des Tierkörpers auf ektogenem Wege, als Miasma gezüchtet und verimpft worden sind. Diese sowohl endogene als ektogene Reproduktion und Virulenz ist auf bakteriologischem Wege für die Bakterien von Cholera, Typhus, Diphtherie, Tetanus, septischen Infektionen, malignem Oedem u. a. beweisbar. Aus alledem kann man schon a priori mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß diese Krankheiten sowohl durch im Tierkörper reproduzierte Mikroorganismen (Kontagien), als auch durch außerhalb desselben gezüchtete (Miasmen) erhalten und verbreitet werden, mit anderen Worten, daß diese Krankheiten sowohl kontagiös als auch miasmatisch sein können.

c) Die individuelle Disposition und der Boden.

Die Beeinflussung gewisser Krankheiten durch örtliche und zeitliche Bodenmomente kann auch davon abhängen, daß der Boden nicht auf die Infektionserreger selbst, sondern auf die auf ihm lebenden Menschen einwirkt, welche also durch gewisse Bodenverhältnisse für gewisse Infektionen disponiert, durch andere hingegen widerstandsfähiger gemacht werden. So kann man sich ganz leicht vor-

stellen, daß eine auf einem verunreinigten, feuchten Boden lebende Bevölkerung zu einer Zeit, wenn die Zersetzung in jenem Boden besonders lebhaft verläuft, infolge dieser Zersetzungsvorgänge von gewissen Fäulnisorganismen überfallen wird, welche auf einen mehr minder beträchtlichen Bruchteil der Bevölkerung in verschiedenem Maße schwächend einwirken, so daß diese jetzt den frisch eingetroffenen (als Kontagien oder Miasmen erzeugten) spezifischen Infektionserreger nicht den gewohnten Widerstand zu bieten vermögen (Fodor, Cunningham[1]).

Es ist aber auch das möglich, daß Infektionsstoffe erst dann zur Wirkung gelangen, wenn sie im Körper mit hier bereits vorhandenen anderen spezifischen Organismen vereint wirken können, welche in einem gewissen Boden zu gewissen Zeiten reichlich vorhanden sind, von dort die Bevölkerung massenhaft überfallen und auf diese Weise der Seuche die Wege ebnen (Nägeli[2]). (S. weiter unten.)

d) Erzeugung ektogener Infektionsstoffe außerhalb des Bodens.

Wenngleich es für gewisse Krankheiten unzweifelhaft ist, daß sie nicht oder nicht bloß im tierischen Körper, sondern auch außerhalb desselben entwickelt werden können, so darf man doch nicht einseitig bloß den Boden als den alleinigen Ort der Ektogenese in Anspruch nehmen, wenn er es auch offenbar hauptsächlich sein dürfte. Ein „örtliches“ Medium der Ektogenese kann auch die Wohnung abgeben, weil auch hier solch eine poröse, feuchte, warme, verunreinigte, also zur Züchtung geeignete Oberfläche sich den Infektionserregern darbieten kann, wie sie im Erdboden gegeben ist, und weil die örtlichen und zeitlichen disponierenden Momente auch dort Schwankungen unterworfen sein können. Eine solche Brutstätte kann z. B. auch ein Schiff abgeben; ein anderes örtliche Medium außerhalb des Körpers mag das Wasser von Flüssen, Seen und Brunnen sein, wo unter gewissen örtlichen und zeitlichen Verhältnissen Infektionserreger gezüchtet werden können, oder es kann dies eventuell auch anderwärts (in Nahrungsmitteln) geschehen, welche unter gewissen zeitlichen Bedingungen (Feuchtigkeit, Wärme, Sommer, Herbst) mehr geeignet sind Infektionsstoffe zu konservieren oder zu züchten, als unter anderen Verhältnissen. Man wird daher beim Studium des örtlichen und zeitlichen Verhaltens einer Infektionskrankheit stets auch diese außerhalb des Bodens gelegenen Medien und einerseits deren örtlichen Zusammenhang mit den Bodenverhältnissen (z. B. bei Wohnungen, Wasser), andererseits deren zeitliche Eignung zur Konservierung und Züchtung von Infektionsstoffen berücksichtigen müssen.

e) Aufgaben der Bodenuntersuchungen für epidemiologische Zwecke.

Wenn man die Beziehungen des Bodens zu gewissen Infektionskrankheiten untersuchen will, würde man beim heutigen Stand unserer Kenntnisse offenbar am richtigsten vorgehen, weil das am ehesten zu positiven und direkten Beweisen führen kann, wenn man am Ort und zur Zeit des Vorherrschens der Seuche die Infektionsstoffe (Bakterien, Miasmen) im oder auf dem Boden thatsächlich aufsuchen und antreffen würde, wie man z. B. an einem von Ergotismus ergriffenen Orte zur Zeit der Epidemie Mutterkorn im dort gewachsenen Getreide, oder

auf der Arbeitsstätte der von Anchylostomiasis ergriffenen Bergleute die Anchylostomen oder deren Eier im oder auf dem Boden wirklich nachweisen kann.

Dies ist bisher nicht geschehen, wenigstens nicht mit der nötigen Exaktheit, und es muß auffallen, daß die Hygiene — Epidemiologie, Bakteriologie — gerade in dieser wichtigsten, direkten Richtung bisher absolut keine oder doch nur kaum in Betracht kommende Untersuchungen aufweisen kann, besonders wenn man erwägt, welchen Aufwand von Arbeitskraft und Mühe diese Disziplinen es sich kosten lassen, um den Einfluß des Bodens auf gewisse Epidemien durch indirekte Beweise zu erhärten. In der Zukunft wird man daher an Orten, wo, und zu Zeiten, wann Typhus, Cholera, Malariafieber vorherrschen, die spezifischen Infektionserreger selbst, und das mit allen zu Gebote stehenden Mitteln zu suchen haben. Ferner ist für die Klärung des Verhältnisses zwischen Boden und Krankheiten auch das Studium gerade jener Provenienzen von Wichtigkeit, welche, aus dem Boden entstammend, die wirksamen, krank machenden Stoffe vom Boden aufnehmen und auf den Menschen übertragen können. Hierher gehört das aus dem Boden stammende Wasser, welches an gewissen Orten zu gewissen Zeiten die Bakterien, Ptomaïne etc. jener Krankheiten im Boden aufnehmen und dem Menschen einverleiben kann, ferner die Grundluft, welche darauf zu untersuchen wäre, ob sie nicht an einzelnen Orten zu bestimmten epidemischen Zeiten der Träger gewisser Stoffe (Bakterien, flüchtige Ptomaïne) ist.

Daß unsere Kenntnisse über die örtlichen und zeitlichen Bodenverhältnisse an verschiedenen Orten, namentlich auch über die bakteriologischen Eigenschaften des Bodens, des Grundwassers und der Grundluft derzeit noch ganz und gar unzulänglich sind, wird durch die voranstehenden Kapitel zur Genüge bewiesen. Unter solchen Verhältnissen muß das Bestreben, die bewußten Bodenmomente mit den en- und epidemischen Krankheiten zu konfrontieren und den kausalen Zusammenhang zwischen denselben klar zu legen, naturgemäß großen Schwierigkeiten begegnen, welche auch aus den folgenden Ausführungen hervorgehen, in welchen ich bestrebt sein werde, die Bodenverhältnisse mit dem örtlichen und zeitlichen Verhalten der wichtigsten en- und epidemischen Krankheiten zu vergleichen, um auf diese Weise das Verhältnis dieser Krankheiten zum Boden zu beleuchten.

2. Beziehungen des Bodens zu den Malariafiebern.

Oertliche Disposition.

Von allen Infektionskrankheiten sind es die Malariafieber, für welche die Epidemiologen den Ursprung aus dem Boden, resp. den Zusammenhang mit diesem am entschiedensten annehmen. Und doch werden wir sofort sehen, daß die angestellten Untersuchungen und ins Feld geführten Beweise auch in dieser Richtung noch sehr lückenhaft und oberflächlich sind.

Das Bestehen einer örtlichen Disposition wird für die Malariafieber aus folgenden Thatsachen abgeleitet. Zunächst sind die Malariafieber an gewissen Orten endemisch und verursachen hier häufige Epidemien, während sie an anderen Orten selbst spo-

radisch **nur selten** oder **überhaupt nicht vorkommen**, und noch seltener (nur bei pandemischer Verbreitung) epidemisch werden. In den Arbeiten von **Hirsch**[3], **Boudin**[4], **Colin**[5], **Maurogény Pascha**[6] u. a. findet man hierüber zahlreiche und bestimmte Angaben.

Die Abhängigkeit dieser **örtlichen** Disposition vom Boden wird durch den Umstand bewiesen, daß die Malariafieber in den endemischen Gebieten einerseits ohne Rücksicht auf Menschenrasse, Wohlhabenheit, Zustand der Wohnungen, Ernährung, Verkehrsverhältnisse, andererseits thatsächlich in Zusammenhang mit gewissen Bodenzuständen auftreten. Zu letzteren gehören:

α) **Die Elevation und Konfiguration des Bodens.** Die Malaria nimmt in endemischen Gebieten in **dem** Maße ab, als der Boden höher liegt, hügelig und abschüssig ist, während sie andererseits bei niederer Lage, besonders in Thälern und Mulden häufiger vorkommt. Und daß hierbei thatsächlich Bodenverhältnisse ausschlaggebend sind, geht daraus hervor, daß bei der Bildung endemischer Gebiete nicht so sehr die Meereshöhe, sondern die im Vergleich zur unmittelbaren Umgebung vertiefte oder muldenförmige Lage entscheidet. So werden die Malariafieber z. B. in Mexiko, im Kaukasus, am Himalaya und in den Anden in Höhen von 2500 und mehr Meter beobachtet, aber auch hier in Thälern und an muldenförmigen Orten (**Hirsch**).

β) Auch die geologische, resp. **petrographische** Konstitution des Bodens ist auf die örtliche Verbreitung der Malaria von Einfluß, indem der **lehmige**, Wasser in hohem Grade bindende Boden dieselbe in viel größerem Maße erzeugt als ein kalkhaltiger oder gar der Sand- und Kiesboden. Der Felsboden (vorausgesetzt, daß er nicht von wasserbindendem Detritus bedeckt ist) ist gleichfalls malariafrei. Es wurde behauptet, daß besonders der eisenhaltige, sowie der von salzigem Seewasser durchtränkte Boden malariaerzeugend wäre; doch kann diese Ansicht gegenüber den widersprechenden Erfahrungen nicht aufrecht gehalten werden. Viele haben auch die chemischen Eigenschaften des Malariabodens untersucht, aber als positives Ergebnis bloß einen Reichtum an vegetabilischen Substanzen gefunden[7].

γ) Unzweifelhaft ist auch der Zusammenhang von **Bodenfeuchtigkeit** und Malaria. Schon der Umstand, daß sie an Thälern und Mulden haftet, verrät die Vorliebe des Infektionsstoffes für den feuchten Boden, welche durch die Erfahrung weitere Bekräftigung findet, daß die Malariafieber besonders an Orten mit **reichlichem** und **stagnierendem Grundwasser** vorherrschen, also auf Ebenen, die an Flüssen und anderen großen Gewässern sich hinziehen, an Orten also, von wo das Grundwasser nicht nur nicht genügend ablaufen kann, sondern noch vom Fluß etc. her gespeist wird, wo es der Oberfläche des Bodens nahe kommt, diese erreicht oder gar übersteigt, und hier Sümpfe bildet, wodurch die oberflächlichen Bodenschichten zu gewissen Zeiten mit hochgradiger Feuchtigkeit erfüllt werden.

Wie wichtig die Rolle des Grundwassers und der hierdurch erzeugten Feuchtigkeit ist, wird durch Fälle erwiesen, in denen man Malariaherde auch auf trockenen Gebieten von wüstenartigem Charakter und ohne sichtliche Sümpfe beobachtet hat, und wo man in der Regel nachweisen konnte, daß unter dem oberflächlichen Sand oder Kies wasserbindende Lehmschichten mit reichlichem Grundwasser sich er-

strecken, so z. B. in der Sologne, an vielen Orten in Algier, namentlich in vielen Orten der Wüste Sahara u. a.

Der krankheitsfördernde Einfluß der Feuchtigkeit wird ferner durch die Thatsache bewiesen, daß die Malaria durch Ueberschwemmungen überaus begünstigt, aber — allen diesen Thatsachen gegenüber — durch alles, was — wie Flußregulierungen, Ableitung oder Tieferlegung des Grundwassers, Kanalisation, Drainage — zur Trockenlegung des Bodens führt, wirksam vermindert wird. Dies hat man auf allen Kontinenten der Erde in unzähligen Gegenden erfahren.

δ) Die Verunreinigung des Bodens, namentlich mit vegetabilischen Stoffen, wirkt ebenfalls erhöhend auf die malariaerzeugenden Eigenschaften einer Lokalität, wogegen diese durch animalische Verunreinigungen im Gegenteil vermindert werden. Ein an niederem Pflanzenleben reicher, humöser, schwarzer Boden ist besonders malariaerzeugend, während kahle, vegetationslose Gebiete mit reinem mineralischen Boden es selbst dann nicht sind, wenn der Boden feucht wäre. In Rom und Umgebung hat man ferner beobachtet, daß die Malaria in dem Maße abnimmt, als man sich dem Inneren der Stadt nähert, und auch von anderen Orten wird erwähnt, daß im Inneren der Ortschaften, wo der Boden mehr mit tierischen Abfallstoffen verunreinigt ist, Malariafieber seltener (aber Typhusfälle häufiger) auftreten als außerhalb der Ortschaft. Endlich gehört bekanntlich die Bearbeitung und Düngung des Bodens unter die wichtigsten Mittel zur Assanierung der Malariagegenden.

Zeitliche Disposition.

Wie gezeigt wurde, sind die lokalen Bodenverhältnisse, insbesondere wenn sie auf das organische Leben im Boden einzuwirken vermögen, auf das Zustandekommen einer infektiösen Krankheit, der Malariafieber von wesentlichem Einfluß; ein solcher kann auch für gewisse zeitliche Bodenverhältnisse, namentlich für die Schwankungen von Wärme und Feuchtigkeit konstatiert werden.

Die Malariafieber zeigen eine Vorliebe für heiße Klimate, wo sie dann in allen Jahreszeiten vorherrschen und in ihren heftigsten Formen zur Beobachtung kommen; andererseits entwickeln sie sich im kälteren Klima nicht zu En- oder Epidemien, namentlich dort nicht, wo die mittlere Sommertemperatur (Isothere) nicht über 15—16 ° C. ansteigt (Hirsch). In der gemäßigten Zone sind die Malariafieber von der Jahreszeit in der Weise abhängig, daß sie zur warmen Jahreszeit häufiger, zur kalten seltener epidemisch werden. In Mitteleuropa bilden die Malariaepidemien der warmen Jahreszeit — Ende Sommer, Herbst — das 10—20-fache der zur kalten — Ende Winter, Anfang Frühjahr — auftretenden (Hirsch). Und endlich ist es auch der Wärme zuzuschreiben, daß, während in den heißen Klimaten Malariafieber selbst in bedeutenden Höhen vorherrschen können (so in den Anden etc. bis 2500 m Höhe, s. S. 159), dieselben in Mitteleuropa bloß bis zu einer Elevation von 4—500, und in Italien bis zu 600—1000 m sich entwickeln (Hirsch). Bemerkenswert ist auch, daß das Ansteigen einer Malariaepidemie viel rascher erfolgt als deren Abnahme, analog den im Boden erwähnten Zersetzungsvorgängen (S. 127, 143), welche auch nach einer Ruhepause rasch eintreten und auf die Einwirkung ungünstiger Verhältnisse (Kälte) nur allmählich zurückgehen.

Daß die Wärme allein zur Entwickelung der Malaria nicht genügt, kann man daraus folgern, daß die Malaria in der Sommerhitze nicht nur nicht ihren Höhepunkt erreicht, sondern gerade dann gewöhnlich abnimmt, und erst später, gegen Ende Sommer und Anfangs Herbst kulminiert.

Ein zweiter zeitlicher Faktor ist in den Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit gegeben. Ein ganz trockener, sowie auch der von Wasser gänzlich überflutete Boden erzeugt keine Malaria, sondern ein gewisser mittlerer Feuchtigkeitsgrad des Bodens und besonders der Uebergang von der Trockenheit zur Feuchtigkeit oder im Gegenteil von übermäßiger Feuchtigkeit zur Austrocknung sind als Generatoren der Malaria zu erkennen. Dies wird besonders durch den Einfluß der Regenfälle auf die Malaria illustriert. „In den Malariagegenden der Tropen", schreibt Hirsch[8], „treten die Fieber der Regel nach mit Beginn der Regenzeit auf, nehmen dann mit den reichlicher fallenden Niederschlägen an Extensität und Intensität zu, lassen auf der Höhe und bei sehr starken Regen gewöhnlich nach und erscheinen erst wieder gegen Ende und unmittelbar nach der Regenzeit." Doch hat Hirsch auch für die gemäßigte Zone nachgewiesen, daß die Malaria nach einem auf längere Trockenheit folgenden Regen am heftigsten ausbricht, während übermäßiger Regenfälle abnimmt, ferner in trockeneren Jahren seltener, in feuchten häufiger auftritt.

Genauere Beobachtungen über das Verhalten der Malaria zu den Schwankungen des Grundwassers und der Bodenfeuchtigkeit, sowie zu den übrigen Veränderungen in der physikalischen und chemischen Beschaffenheit des Bodens stehen uns derzeit nicht zur Verfügung.

Die angeführten Daten beweisen einen innigen Zusammenhang zwischen Malaria und gewissen lokalen Bodenverhältnissen sowie deren zeitlichen Modifikationen; dagegen spricht nichts für die Annahme, daß man dieses örtliche und zeitliche Verhalten der Malaria für von etwas anderem als den gedachten Verhältnissen des Bodens müßte bedingt halten.

Es darf aber auch nicht verschwiegen werden, daß es Orte giebt, die für Malaria äußerst disponiert erscheinen, und trotzdem von dieser Krankheit frei sind oder doch unverhältnismäßig milde betroffen werden. Solche sind: manche Gegenden des Rio de la Plata Gebietes in Süd-Amerika (die Pampas) (Hirsch, Mantegazza), die Inseln des Amazonen- (Parana-)Stromes (Bouffier), Neu-Caledonien (Rochas), ferner auch Irland (Oldham) und manche für die Malaria sehr günstig scheinende Gegenden Schwedens (Bergmann)[9]; Aehnliches berichtet Fr. Mühlebach[10] von dem Orte Mühlheim am Bach u. s. f. Die Ursache dieser Immunität ist uns vorläufig unerklärbar, wird aber wahrscheinlich in irgendeiner bisher unbekannten Eigenschaft des Bodens am ehesten zu suchen sein.

Andererseits giebt es Gegenden, welche, nach ihren Bodenverhältnissen zu urteilen, malariafrei erscheinen, und doch überaus malarisch sind: so zunächst die römische Campagna, der Agro Romano, dessen Boden nach Colin nicht nur frei von Sümpfen, sondern geradezu auffallend trocken ist, ferner gewisse hochgelegene Gebiete in Vorder-Indien (Deccan), wo die Malaria unter dem Namen „Hill fever" beobachtet wird, obschon der Boden auch hier nicht nur keine Sümpfe zeigt, sondern trocken ist (Hirsch). Schiavuzzi behauptet, daß

die Malaria auf dem Karstgebirge an hochgelegenen Orten mit steinigem, sumpflosem, trockenem Boden vorherrscht [11].

Demgegenüber müssen wir aber hervorheben, daß die wirklichen Verhältnisse des Bodens durch die gebotenen Daten vielleicht doch nicht klargelegt sind. So hat gleich für den Agro Romano Tommasi-Crudeli [12] nachgewiesen, daß der Boden die Feuchtigkeit wie ein Schwamm aufnimmt und bindet, weshalb derselbe auch gar nicht anders als mit einer „kunikulären Drainage", wie sie die alten Römer in Form unterirdischer Gallerien anlegten, durchlüftet und ausgetrocknet werden kann; die Feuchtigkeit des felsigen Karstbodens hinwieder hat Pettenkofer bei seinen Cholerastudien schon hinlänglich beleuchtet. Daß aber ein feuchter Boden auch ohne eigentliche Sumpfbildung imstande ist Malaria zu erzeugen, haben wir schon oben betont.

Man darf auch nicht vergessen, daß zur Erzeugung von Malariaerkrankungen schon sehr beschränkte Bodenpartien hinreichen. So hat L. Torelli [13] in seinem vortrefflichen Werke hervorgehoben, daß den Eisenbahnen entlang neben Wächterhäusern und Aehnlichem durch Erdaushebungen oder Dämme erzeugte kleine Sümpfe schon zu Malariaherden wurden. Klebs und Tommasi-Crudeli [14] haben sogar darauf hingewiesen, daß, wenn in einem durch Colmatage bedeckten Malariaboden ein Graben gezogen wird, die Malaria sich aufs neue zeigt. Nach einer Behauptung von Salisbury [15] — deren Verläßlichkeit ich nicht zu kontrollieren vermag — hat eine aus einer Malariagegend herstammende Bodenprobe, welche 5 engl. Meilen von dort an einem malariafreien Orte im Zimmer untergebracht war, Malariainfektionen erzeugt. Endlich behaupten viele, daß Botaniker und Blumenfreunde, die Blumen in Töpfen im Zimmer halten, häufig auch an malariafreien Orten Wechselfieber bekommen (Eichwald [16]).

Vielleicht ist auch ein großer Teil der in der Litteratur erwähnten Fälle von Schiffmalaria („malaria nautique") auf diesem Wege zu erklären, wo nachgewiesen werden kann, daß die Schiffe Erde als Ballast mitführten [17]. In anderen Fällen muß man vielleicht annehmen, daß die Malariainfektion noch am Festlande erworben war, aber erst später, infolge einer Gelegenheitsursache am Schiffe zum Ausbruch kam, wie z. B. bei der Epidemie der „Constituante" [18]; doch ist es auch möglich, daß die Malaria unter gewissen Bedingungen im Kielraum des Schiffes, in dem hier faulenden Bilgewasser zur Entwickelung kommt [19].

Die Malariainfektion.

Wie die Infektionserreger der Malariafieber vom Boden in den menschlichen Körper gelangen, ist noch immer ungeklärt. Das aus dem Malariaboden entstammende Trinkwasser könnte zwar für den Malariastoff des Bodens einen sehr guten Träger abgeben, doch sprechen alle Erfahrungen dafür (s. Kapitel Trinkwasser), daß es als Vermittler der Infektion nicht oder doch äußerst selten und nur ausnahmsweise figuriert. Vielleicht ist der Magen mit seinen desinfizierenden Eigenschaften ein für die Malariaerreger unüberschreitbares Medium.

Eine andere Art der Uebertragung kann in der Zerstäubung an der Oberfläche des Malariabodens und der Einatmung der Staubteilchen bestehen. Thatsächlich ist nachgewiesen, daß der Wind die Malaria auf eine nicht zu große Entfernung entführen kann [20]. Viele Anzeichen

sprechen jedoch dafür, daß bei der Uebertragung der Malaria der Grundluft insbesondere eine wichtige Rolle zukommt. Nach zahlreichen vorliegenden Beobachtungen erfolgen nämlich die Malariainfektionen am häufigsten in der Abend- und Nachluft, und nicht am Tage, obschon die Luft am Tage infolge von Bewegung und Verkehr mehr Staub von der Bodenoberfläche enthält als am Abend und in der Nacht, wo wieder mehr Grundluft in der Atmosphäre enthalten ist (s. oben unter Grundluft). So hat man in Italien die Erfahrung gemacht, daß z. B. ein Spaziergang in den Cascinen zu Florenz, in den römischen Volksgärten am Monte Pincio oder in den Gärten von Ajaccio u. s. w. am Abend oder in der Nacht besonders gefährlich ist [21]. Desgleichen wird auch in den Marschen die Nachtluft für gefahrbringend gehalten [22], ganz abgesehen von den sehr alten Erfahrungen, wonach Schiffer besonders nach einem nächtlichen Aufenthalte auf dem Festlande von Malariafiebern befallen wurden (Lind u. a.).

Man darf aber auch hier nicht übersehen, daß der Abend und die Nacht vielleicht durch die leichtere Erkältung auf die Widerstandskraft der Individuen schwächend einwirken und das Zustandekommen der Malariainfektion auf diesem Wege begünstigen mögen; in diesem Fall würde die Tageszeit bloß eine individuelle Disposition für Malaria erzeugen.

Für die Vermittlerrolle der Grundluft spricht noch die Erfahrung, daß die Infektion besonders Personen bedroht, welche sich in Malariagegenden (Italien und a. a. O.) im Freien nahe zur Oberfläche des Bodens aufhalten, besonders des Nachts, wenn und wo also die Exhalation der Grundluft am reichlichsten stattfindet. Aus diesem Grund hat man in jenen Gegenden die Ortschaften und Häuser schon seit uralten Zeiten an erhöhten Punkten erbaut, und die Leute schlafen nicht in den Erdgeschossen; ferner pflegen Hirten sich aus Balken Gerüste zu konstruieren, auf welchen sie die Nacht in der Höhe zubringen [23]. Doch kann bei alledem wieder auch die Erkältung mitspielen.

Ferner spricht für die Grundluft auch noch die besondere Gefährlichkeit der abgeschlossenen, stagnierenden Luft (in mit Mauern umgebenen Gärten, engen Thälern, auf von Bäumen dicht umsäumten Plätzen), wogegen die freie bewegte Luft, trotzdem sie den Staub von der Bodenoberfläche eher aufwirbelt, weniger Malaria erzeugt.

Auf die Betheiligung der Grundluft wird man noch durch die Erfahrung verwiesen, daß besonders ein Aufgraben des Bodens, durch welches man der Grundluft freie Wege öffnet, bei Arbeitern, Soldaten etc., und sogar bei der in der Nähe wohnenden Bevölkerung Infektionen zu erzeugen imstande ist [24]. So schreibt auch Pietra Santa, daß in Paris, als die Boulevards de Strasbourg, des Malesherbes etc. angelegt wurden, die Malariafieber sich in weitem Umkreise zeigten; desgleichen beobachtete er die Malaria-Erkrankungen beim Bau des Chemin de fer de l'Est unter den Erdarbeitern auffallend häufig. Aehnliches berichtet Wenzel [25] vom Jadegebiet, dann Fokker [26] anläßlich der auf der Insel Walcheren ausgeführten Erdarbeiten, und andere [27].

Die wiederholt hervorgehobene Erfahrung, daß Malariaböden am Tage ferner im Hochsommer sich weniger gefährlich zeigen als des Nachts und im Frühjahre sowie im Herbst, könnte eventuell darin ihre Erklärung erhalten, daß die übermäßige Erhitzung der Bodenoberfläche durch die Insolation am Tage und im Sommer (s. S. 56) die an der

Bodenoberfläche sich befindenden Malariaerreger abtötet, welcher Einwirkung dagegen die unter der Bodenoberfläche gelagerten Organismen entzogen sind und so die Infektion in einer soeben angedeuteten Weise, durch Vermittelung der aus den Boden aufsteigenden Luft hervorrufen.

Die Malariafieber als Bodenkrankheiten.

Wenn man zu obigen Thatsachen noch hinzurechnet, daß nach allen vorliegenden verläßlichen Erfahrungen Malariakranke mit ihren Entleerungen oder Sekreten die Krankheit noch nie auf Gesunde übertragen haben, so ist man berechtigt, zu konstatieren, daß die Malariafieber Krankheiten sind, deren Infektionserreger nicht durch den Menschen erzeugt und verbreitet werden, sondern an gewissen Orten und zu bestimmten Zeiten außerhalb des menschlichen Körpers, namentlich vorwigend, wenn nicht ausschließlich im Boden entstehen. Die Malariafieber sind also rein miasmatische Krankheiten.

In gleicher Weise kann man auf Grund der bisherigen Erfahrungen ausschließen, daß die Malaria durch den Verkehr malariakranker Menschen fortgetragen, verschleppt und ausgestreut würde. Auch von den Se- und Exkreten der Malariakranken vermag keines Menschen oder Orte zu infizieren. Das Malariamiasma ist also in der Regel fix und nicht verschleppbar.

Daß aber gewisse Produkte der Malariaörtlichkeit, wenn sie durch Winde oder andere Vermittler fortgeführt werden, imstande sind gewisse andere Orte zu besäen oder einzuimpfen, wenn diese gerade auch zeitlich disponiert sind, kann nicht geleugnet werden. Im Gegenteil würde die zeitweilige Ausbreitung der Malariagebiete und das folgende Aufhören der Malariaerkrankungen auf den neu ergriffenen Orten dafür sprechen, und im selben Sinne sind auch die zeitweiligen Malaria-Pandemien zu deuten (Bergmann).

Der Malariaboden.

Frägt man aber zuletzt, ob wir imstande sind, auf Grund einer Untersuchung des Bodens zu entscheiden, ob ein gewisser Boden zu einer gegebenen Zeit Malaria erzeugt oder nicht, so wird die Antwort leider im allgemeinen verneinend ausfallen. Bisher sind uns Kennzeichen im Boden oder anderwärts nicht bekannt, aus welchen der malarische oder malariafreie Charakter des Bodens mit Sicherheit zu erkennen wäre. Doch wird man bei Vorhandensein der im Obigen dargelegten örtlich und zeitlich disponierenden Bodenmomente mit Wahrscheinlichkeit folgern dürfen, daß eine örtliche Disposition besteht und daß der Zeitpunkt für Malaria günstig ist.

Um das Verhältnis von Boden und Malaria zu einander in der Zukunft gründlicher zu studieren und begreifen zu können, bedarf es weiterer genauerer und eingehenderer Bodenuntersuchungen. Als eine Vorbedingung des günstigen Erfolges dieser Untersuchungen wäre am erwünschtesten, wenn die Infektionserreger der Malariafieber außerhalb des menschlichen Körpers bekannt und in den Kreis der Untersuchung einbeziehbar wären. — Da es hinsichtlich der Malariabacillen von Klebs und Tommasi-Crudeli mehr als zweifelhaft geworden ist, ob

dieselben überhaupt etwas mit der Malaria zu schaffen haben, so will ich in eine Erörterung der auf das Verhalten dieser Bacillen zum Boden bezüglichen Angaben gar nicht eingehen. Die von Laveran, Marchiafava und Celli gefundenen Malariaplasmodien sind außerhalb des menschlichen Körpers unbekannt und derzeit nicht zu züchten, weshalb auch ihre Beziehungen zum Boden jetzt noch nicht erörtert werden kann.

3. Beziehungen des Bodens zum Gelbfieber.

Das Gelbfieber zeigt in vielen Beziehungen das nämliche Verhalten zum Boden wie die Malariafieber, aber in manchen anderen und gerade sehr interessanten und wichtigen Punkten ein ganz verschiedenes.

Die Uebereinstimmung besteht darin, daß auch das Gelbfieber an gewissen Orten und zu gewissen Zeiten vorherrscht, — der Gegensatz hingegen darin, daß der Infektionsstoff des Gelbfiebers nicht fix, sondern verschleppbar, volatil (nach alter Nomenklatur) ist.

Oertliche Disposition.

Hinsichtlich der örtlichen Disposition tritt die im Vergleich zur Malaria enge Begrenztheit desjenigen Gebietes, auf welches das en- und epidemische Vorherrschen des Gelbfiebers beschränkt ist, am prägnantesten hervor. Als Endemie ist diese Krankheit an den Golf von Mexiko und die Nachbargebiete gebunden, und auch als Epidemie wird sie in Amerika vom 32° n. Br. bis zum 22° s. Br., und in Afrika zwischen dem 5. und 14° n. Br., überall an der Meeresküste und den Ufergebieten großer Ströme beobachtet (Pettenkofer)[28]. Nur ausnahmsweise hat man diese Krankheit als Epidemie auch anderwärts, namentlich auch im südlichsten Teil von Europa, in Süd-Spanien auftreten sehen; doch haben sich einige Fälle auch etwas nördlicher (in französischen und italienischen Häfen), aber bloß an vom Süden auf Schiffen angelangten Personen und seltener an solchen, die mit den Schiffen in Berührung traten, gezeigt (Hirsch).

Bei Betrachtung der Oertlichkeit lassen sich also schon zwei entscheidende Momente erkennen, nämlich die Temperatur und die Feuchtigkeit, welche entschieden auf den Boden als den Ursprung der lokalen Disposition verweisen. Dabei bleibt immerhin unerklärt, warum das Gelbfieber sich nicht auf alle warmen und feuchten Länder entlang dem Aequator ausbreitet, namentlich nicht auf solche, in denen die Verhältnisse von Boden, Temperatur und Feuchtigkeit mit den im mexikanischen Meerbusen bestehenden übereinstimmen. Solcher Orte giebt es aber sehr viele, z. B. Vorderindien, die Heimat der Cholera, ferner Ostafrika, Hinterindien, China und die Inseln im Indischen Ocean. An der Menschenrasse kann es nicht liegen, weil die weiße Rasse, welche im endemischen Gebiet des Gelbfiebers der Krankheit besonders unterworfen ist, alle die erwähnten übrigen Gebiete gleichfalls bewohnt. Noch weniger kann man an etwas Spezifisches in den Ernährungs-, Kleidungs-, Wohnungs- und Lebensverhältnissen des endemischen Gebietes denken. Sollte die Ursache vielleicht im mangelnden Verkehr liegen, welcher von den endemischen und den eventuell epidemisch gewordenen Gebieten nach den übrigen tropischen Gegenden

nur in beschränktem Maße besteht? Oder sollte der endemisch ergriffene Boden etwas Spezifisches enthalten, was anderwärts nicht oder selbst in den zu Epidemien disponierten Orten nur in einer geringen Menge vorhanden ist, die rasch verbraucht wird und zu einer endemischen Ansiedelung der Krankheit nicht ausreicht? Die Erscheinung ist unerklärbar und um so interessanter, als sie auch für die Cholera ganz in der nämlichen Weise besteht. Auch diese ist bloß auf einem beschränkten Gebiete endemisch vorherrschend, und obschon sie auf die mit den indischen ähnlichen Gebiete Amerikas wiederholt verschleppt wurde und hier Epidemien verursachte, konnte sie sich bisher doch nicht endemisch festsetzen.

Es kann aber hinter dieser Erscheinung ein ähnliches Naturrätsel verborgen sein wie dasjenige, welches bewirkt, daß Tokajer Weinstöcke in alle Weltteile verpflanzt und hier mit Sorgfalt gepflegt werden, und doch nirgends den guten Wein liefern wie in Tokaj in Ungarn; zwar pflegen die Stöcke wohl auch anderwärts reichlich zu tragen, und die ersten wenigen Ernten sind auch dem Tokajer Wein ähnlich; doch pflegen die Pflanzen alsbald zu degenerieren, und der Wein nimmt anstatt des Charakters des Tokajers jenen der betreffenden Weinbauorte an. Die spezifische Ursache muß also an die Oertlichkeit, an den Boden (und das Klima?) und nicht an den Weinstock gebunden sein.

Das Gelbfieber läßt sowohl auf dem endemischen, als auf dem epidemischen Gebiete noch mehrere Eigenschaften erkennen, welche entschieden auf den Boden als den Regulator des en- und epidemischen Auftretens hinweisen, sodaß Hirsch mit Recht den folgenden Satz aufstellen konnte: „Von sämtlichen Infektionskrankheiten erscheint keine in ihrem Vorkommen so sehr an bestimmte örtliche Verhältnisse geknüpft, als Gelbfieber“[29]. Und als solche örtliche Verhältnisse erwähnt er, daß die Krankheit, wenn auch nicht ausschließlich, doch vorwiegend an Meeresküsten, an die Ufer großer schiffbarer Flüsse gebunden ist, daß sie sich meist auf die Ebene beschränkt zeigt, fast ausschließlich in volkreichen Städten, auch hier in den schmutzigsten Quartieren und sogar in einzelnen schmutzigen Häusern vorherrscht.

Das örtliche Gebundensein des Gelbfiebers wird von Brendel[30] sehr gut illustriert, indem er bei Beschreibung des Gelbfiebers zu Montevideo die Krankheit mit einer Hochwassergefahr vergleicht, bei welcher die in den tiefgelegenen Stadtteilen wohnenden Personen Tod und Verderben zum Opfer fallen, während die höher Wohnenden dem Ganzen wie einem harmlosen Naturereignis ohne eigene Gefährdung zusehen.

Ob zur Entwickelung einer Gelbfieberepidemie außer Feuchtigkeit, Schmutz und Wärme des Bodens noch irgendwelche spezifische Eigenschaften desselben unentbehrlich sind, läßt sich derzeit überhaupt nicht nachweisen; die Beobachtungen sprechen für keinerlei Spezificität des Bodens und zeigen sogar, daß der Infektionsstoff dieser Krankheit auch ohne Boden zu gedeihen und sich zu entwickeln vermag. Dies wird namentlich durch die Schiffsepidemien bewiesen.

Besonders lehrreich ist die Beobachtung, daß auf Schiffen mit fauligem Bilgewasser oder mit verunreinigter Erde als Ballast Malariafieber nur ganz ausnahmsweise, Gelbfieber aber viel häufiger vorkommt. Eine Kajüte, ein Deck, oder eine Seite des Schiffes, schreibt Hirsch, kann zum ausschließlichen Schauplatz der Seuche werden, und zwar

dann, wenn sie verunreinigt und warm ist. Darum bleiben auf den Schiffen die Offiziere und Passagiere vom Gelbfieber in der Regel verschont, während die Matrosen und alle, die in diesen Lokalen verkehren, darunter zu leiden haben. Auch in Häfen geschieht es häufig, daß das Gelbfieber auf unreine Schiffe übergreift, während die übrigen Schiffe und der ganze Hafen verschont bleiben. Ferner pflegen die mit der Bemannung solcher Schiffe in Berührung tretenden Personen nicht zu erkranken, während diejenigen, die auf dem Schiffe, resp. in dessen infizierten Teilen verkehrt haben, von der Krankheit befallen werden [31].

Das Gelbfieber ist also von örtlichen Bedingungen abhängig, zu welchen in erster Reihe die örtlichen Bodenverhältnisse gehören; doch können außer dem Boden im beschränkteren Maße auch andere Orte — Schiffe, Wohnungen — Entstehungsherde des Gelbfiebers werden, wenn in denselben, wie im Boden, Unreinigkeit, Feuchtigkeit und Wärme gegeben sind.

Zeitliche Disposition.

Die zeitliche Disposition ist für das Gelbfieber ebenso bestimmt nachweisbar, wie für die Malariafieber, und sogar noch bestimmter — namentlich der Einfluß von Temperatur und Feuchtigkeit. Gelbfieberepidemien können sich nicht ausbreiten oder hören auf, wenn die Temperatur unter 20° C. steht; mit steigender Temperatur nimmt auch die Epidemie zu, mit der Abkühlung aber fällt sie ab. Besonders lehrreich ist die Beobachtung, daß das Gelbfieber auf Schiffen aufhört, sobald diese höhere (kältere) Breitegrade erreichen, bei der Rückkehr unter südlichere Breiten aber wieder auftritt [32]. Die Bedeutung der Feuchtigkeit wird aber dadurch bewiesen, daß auch die Gelbfieberepidemien bei nach Trockenheit eintretenden Regenfällen, resp. nach dem Aufhören von letzteren, mit zunehmender Austrocknung sich zeigen, dagegen bei trockenem Wetter oder übermäßigen Niederschlägen aufhören; man muß also die Gelbfieberepidemien für offenbar von gewissen zeitlichen Durchfeuchtungsverhältnissen des Bodens wesentlich abhängig halten.

Auf einen Kausalnexus mit dem Boden verweisen ferner Erfahrungen, wonach ein Aufwühlen oder Aufgraben des Bodens bei Anlage von Kanälen, Straßen, Dämmen etc. dieser Krankheit ebenso förderlich ist wie den Malariafiebern [33], woraus mit Wahrscheinlichkeit hervorgeht, daß die Infektion durch den zerstäubten Boden, resp. durch die Grundluft vermittelt wird.

Nach alledem werden wir die miasmatische Entstehung und den Zusammenhang mit Bodenverhältnissen beim Gelbfieber für ebenso unzweifelhaft halten wie bei den Malariafiebern. Doch muß hinsichtlich des Infektionsstoffes der Unterschied bestehen, daß das Gelbfieber verschleppbar ist, wofür die in den Spuren der aus en- oder epidemischen Orten eintreffenden Schiffe auftretenden Epidemien als unbezweifelbare Beweise dienen. Fraglich bleibt nur, ob bei solchen Verschleppungen dem Boden eine Rolle zukommt oder nicht, ob der Infektionsstoff bei der Verschleppung im Boden oder sonst wo reproduziert, oder bloß von den zugereisten angesteckten Personen, durch ihre Exkrete u. s. w. verbreitet wird.

Wenn man sieht, wie die eintreffenden Schiffe oft allein infiziert bleiben, und die Erkrankungen sich auf Personen beschränken, welche

das Schiff betreten haben, dagegen andere, die mit den ausgeschifften Kranken in Spitälern oder Privatwohnungen in Berührung waren, verschont bleiben, — wenn man ferner sieht, daß die Epidemie, wenn sie vom Schiffe ausgeht, zwar verbreitet wird, sich jedoch auf das örtlich und zeitlich disponierte Gebiet beschränkt, auf die Bevölkerung anderer Gebiete, deren Boden nicht disponiert ist, auch selbst bei noch so regem Verkehr nicht hinübergreift, so muß man annehmen, daß ein Miasma verschleppt wurde, welches, wenn Ort und Zeit günstig sind, wieder Miasma erzeugt.

Doch muß auch hervorgehoben werden, daß bei der Verschleppung des Gelbfiebers die Reproduktion des Infektionsstoffes nicht bloß durch den Boden stattfinden mag, da — wie schon weiter oben angegeben — wiederholt Fälle beobachtet wurden, wo die Krankheit von den anlangenden infizierten Schiffen auf andere im Hafen befindliche Schiffe übertragen wurde, und in diesen Seuchennester entstanden, während der Hafenort selbst von der Krankheit verschont blieb.

Die Uebertragung des Infektionsstoffes von den angelangten Schiffen auf das Ufer und dessen Einimpfung in Menschen oder in Gegenstände kann durch aus dem Körper der Schiffsleute herstammende Sekrete oder durch andere Gegenstände vermittelt werden, an welchen auf dem infizierten Schiffe irgend ein züchtbarer Infektionsstoff haften geblieben ist. Möglicherweise kann solch ein Sekret oder ein infizierter Gegenstand zwar aus sich selbst einzelne Erkrankungen verursachen, aber ohne Reproduktion und miasmatische Vermehrung Epidemien nicht erzeugen, weil, wie bekannt, ein mit seinen Se- und Exkreten und Kleidern weiter reisender Kranker an solchen Orten und zu solchen Zeiten eine Epidemie nicht verursacht, wo es zwar Menschen genug giebt, die hätten infiziert werden können, wo aber der zur Reproduktion des Miasmas günstige Ort und Zeitpunkt fehlt.

Das Gelbfieber ist also eine verschleppbare miasmatische Krankheit. Leider ist uns dieses verschleppbare Miasma bisher nicht sicher bekannt, weshalb auch ein direktes Studium des Zusammenhanges dieser miasmatischen Krankheit mit dem Boden und mit dessen zeitlichen und örtlichen Verhältnissen nicht thunlich erscheint.

4. Beziehungen des Bodens zur Cholera.

Das Studium der Beziehungen der Cholera zum Boden wird durch die Untersuchungen über das Verhalten der Malariakrankheiten und des Gelbfiebers zum Boden überaus erleichtert, weil dadurch die Verwandtschaft dieser Krankheiten zu einander und der allmähliche Uebergang von der einen zur anderen hinsichtlich ihres Verhaltens zum Boden, von den Malariafiebern als fixen und exklusiven Bodenkrankheiten über das nicht exklusive und verschleppbare Gelbfieber zu der noch minder exklusiv vom Boden abhängigen und gleichzeitig noch mehr verschleppbaren Cholera klar und deutlich hervortritt.

Die Abhängigkeit der Cholera von gewissen örtlichen und zeitlichen Momenten wird schon seit langem von vielen Aerzten behauptet. Am eingehendsten und mit einer wahrhaft bewunderungswürdigen Unermüdlichkeit und Ausdauer hat Pettenkofer diese Frage studiert und durch seine umfassenden und in alle Details eindringenden Untersuchungen zahlreiche positive Daten zusammengetragen, diese auf natur-

wissenschaftlicher Grundlage kritisiert und hierdurch — wie immer auch die endgiltige Entscheidung über das Verhältnis der Cholera zum Boden lauten möge — in der Cholerahygiene sich und seiner Schule ebenso dauernde Verdienste erworben wie der andere grundlegende Forscher, der Entdecker der Choleraerreger, Robert Koch.

Nach der Pettenkofer'schen Ansicht wird der Infektionsstoff der Cholera nicht im kranken Menschenkörper gebildet und nicht durch Absonderungen und Entleerungen der Kranken verbreitet, sondern in örtlich und zeitlich disponierten Orten außerhalb des menschlichen Körpers produziert und von hier auf die dort wohnenden Menschen ausgestreut: gerade so wie die Malaria, nur mit dem Unterschied, daß, während dafür keine Erfahrungen vorliegen, daß der Infektionsstoff der Malaria von Malariaorten auf andere verschleppt und verimpft und auf diese Weise auch hier eine Malariaepidemie erzeugt werden könnte, die Infektionserreger der Cholera durch Personen, welche aus verseuchten Orten eintreffen, (mit ihren Entleerungen, Kleidungsstücken etc.) oder Gegenständen auch auf andere Orte übertragen werden können. Die Infektionsträger vermögen, wenn die Oertlichkeit sowohl lokal als auch zeitlich für Cholera disponiert ist, sich hier festzusetzen, zu vermehren und zu einer Ausbreitung der Cholera zu führen. Ist hingegen der neue Ort örtlich oder zeitlich für Cholera nicht disponiert, so wird der eingeschleppte Cholerastoff höchstens ein, zwei Ansteckungen verursachen, nämlich so viel, als der fertig mitgebrachte und am Ueberträger haftende Infektionsstoff ausreicht, — Epidemien aber, d. h. zahlreichere Erkrankungen wird der eingeschleppte Stoff nicht verursachen; hierzu bedarf es einer Reproduktion und Vermehrung desselben im Boden. Kurz, nach Pettenkofer ist die Cholera eine verschleppbare miasmatische Krankheit, zu deren epidemischer Ausbreitung gewisse Zustände und eine Mitwirkung des Bodens als unerläßliche Bedingungen gehören.

Als Beweis hierfür verweist Pettenkofer auf die Thatsache, daß die epidemische Verbreitung der Cholera örtlich und zeitlich nicht von der Berührung der Menschen mit Cholerakranken, nicht vom Verkehr zwischen verseuchten und unergriffenen Lokalitäten abhängt, und nicht in dem Maße, als diese Faktoren bestehen, sondern thatsächlich mit anderen örtlichen und zeitlichen Bodenverhältnissen parallel stattfindet[84].

Die örtliche Verbreitung der Cholera und der Boden.

Die auffallendste Erscheinung in der Verbreitung der Cholera ist die Beschränkung ihres endemischen Vorherrschens auf ein bestimmtes enges Gebiet, worin sie mit dem Gelbfieber übereinstimmt.

Und wieder sind es tropisches Klima und feuchte Küsten- und Flußgebiete, wo die Cholera ihre eigentliche Heimat hat: Ost-Indien und die angrenzenden Gebiete. An anderen Orten kommt sie bloß nach Einschleppung aus ersteren zur Entwickelung. Diese Erscheinung kann derzeit ebensowenig erklärt werden, wie das analoge Verhalten des Gelbfiebers. Menschenrasse, Gebräuche, klimatische Verhältnisse, Ernährung, Wohnung können alle kaum in Betracht kommen, und bei der Cholera kann man nicht einmal den Mangel an Verkehr oder eine seltene Verschleppung des Infektionsstoffes in Anspruch nehmen, da die Cholera

doch zu wiederholten Malen auf andere tropische Gegenden, z. B. nach Westindien verschleppt wurde, ohne sich hier festzusetzen. Trotzdem scheint eine Acclimatisierung allmählich und mit der Zeit doch einzutreffen; so zeigt die Krankheit sich in Japan jetzt schon jedes Jahr, auch ohne neue Einschleppung; hier ist sie also bereits acclimatisiert[35]. Ob wohl die in Rußland wiederholt, in Südfrankreich und anderwärts aber in neuerer Zeit beobachtete lange Dauer und Latenz der Cholera nicht als Acclimatisation zu deuten ist?

Durch das endemische Vorkommen der Cholera in Indien wird man zunächst auf den Gedanken gebracht, daß im Boden von Indien etwas Spezifisches vorhanden sein könnte — so wie auch die spezifische Ursache des Tokajer-Bouquets im Boden von Tokaj, welcher ventuell spezifische Gährungspilze produziert, und nicht in den Reben enthalten sein muß — wodurch die Cholerakeime erhalten werden, während sie an anderen Orten, wo dieses Specificum fehlt, zu Grunde gehen. Doch ist es auch möglich, daß an anderen tropischen Orten infolge der weniger dichten Bevölkerung und der geringeren Ausbreitung der Choleraepidemien die Cholerakeime nicht in jener reichlichen Anzahl vorhanden sind, deren es bei der geringen Lebensfähigkeit und dem raschem Absterben dieser Infektionserreger bedarf, um dieselben trotz aller nachteiligen Einflüsse am Leben zu erhalten und sie mit der günstigeren Gestaltung der Verhältnisse zu neuer Vermehrung zu befähigen. Bekanntlich geschieht es ja auch in Indien, daß die Cholera zuweilen beinahe ganz ausstirbt, und daß es erst nach einer längeren Zeit zu einer so allgemeinen Reproduktion der Keime kommt, daß Epidemien entstehen.

Infolge dieser Beschränkung auf Indien wird man also eine spezifische Rolle des Bodens gegenüber der Cholera als möglich erachten, aber nicht als unerläßlich, und namentlich noch nicht als bewiesen.

Eine andere auffallende Erscheinung ist die, daß die Cholera gewisse Gegenden, Städte, Stadtteile und Häuser selten oder nur in sehr mildem Grade ergreift, andere dagegen häufiger und heftiger, sodaß die Einwohner in gewissen Gegenden, Ortschaften, Ortsteilen und Häusern gleichsam disponiert für Choleraepidemien sind, andere sich mehr minder immun zeigen. Dies wird aus einer allgemeinen Uebersicht der geographischen Verbreitung der Cholera klar und deutlich hervorgehen.

Bekanntlich werden in Indien selbst die Ebenen an den großen Flüssen von der Cholera epidemisch ergriffen, die Gebirgsgegenden aber sind immun; und auch in Europa haben die Schweiz, das südöstliche Frankreich, Südwest-Deutschland von der Cholera auffallend wenig zu leiden, dagegen die angrenzenden Landesteile, dann z. B. Rußland, Polen, Galicien, Norddeutschland, Ungarn viel mehr[36]. Doch wollen wir dies an einigen Beispielen noch weiter ausführen.

In Indien betrug die jährliche Choleramortalität von 1871—1882 nach Distrikten, auf 100000 Einwohner berechnet[37]:

Centraldistrikte des endemischen Gebietes	180,8
Westliche Distrikte der Präs. Bombay	134,2
Distrikte zwischen dem endemischen und epidemischen Gebiete	112,5
Westliche Distrikte des Pandschab (Pundjab)	22,6
Distrikt Multan in Pandschab, ca.	0,6

Der Distrikt Multan kann im Vergleich zu den übrigen immun ge-

nannt werden, und das ganze Pundjab hat überhaupt auffallend weniger von der Cholera zu leiden, als die benachbarten Distrikte.

Für besonders cholerafrei hat man in Indien, nach J. M. Cunningham[38], die sogenannten Hügelstationen, z. B. jene von Mussuri erkannt. Derselbe Autor behauptet auch, daß die in der Nähe von Calcutta gelegenen Adamaneninseln, trotz des unausgesetzten Verkehrs mit dieser Stadt, frei von Cholera sind.

In Bayern waren während aller von 1836—1874 vorgekommenen Epidemien in den einzelnen Regierungsbezirken von der Gesamtbevölkerung pro 100000 an Cholera gestorben[39]:

Oberbayern	1041
Schwabach und Neuburg	358
Unterfranken-Aschaffenburg	130
Mittelfranken	85
Pfalz	67
Niederbayern	60
Oberpfalz und Regensburg	17
Oberfranken	14

Der Unterschied zwischen Oberbayern und Niederbayern oder Oberfranken ist so groß (18-, resp. 80-fach), daß man letzteren Regierungsbezirk füglich als immun bezeichnen kann.

In den einzelnen Provinzen Preußens waren von 1848—1859 an Cholera jährlich pro 100000 Einwohner verstorben:

	Prov. Posen	198,3
	„ Preufsen	182,2
dagegen:		
	„ Westfalen	5,4
	„ Rheinland	16,2

Der Unterschied zwischen den einzelnen Provinzen ist so groß, daß man ihn gewiß nicht einem Zufall zuschreiben kann.

In Sachsen waren während der von 1836—1873 vorgekommenen 6 Choleraepidemien während einer jeden Epidemie von 100000 Einwohnern verstorben:

Regierungsbezirk Leipzig	155,8
„ Dresden	28,0

Auch hier ist der Unterschied zwischen den benachbarten zwei volkreichen und industriellen Bezirken überraschend. Ueberhaupt blieben die Choleraepidemien in Sachsen von 1836—1873 bloß auf zwei größere und einen kleineren Herd beschränkt, während das übrige Land konstant eine auffallende Immunität bewahrte (Reinhard)[40].

Im Regierungsbezirk Oppeln waren während der Jahre 1848—1859, dann von 1831—1874 in den einzelnen Kreisen von 10000 Einwohnern insgesamt gestorben:

	Kreis	1848—1859	1831—1847 und 1860—1874
	Rybnik	1,12	2,65
	Lublinitz	7,30	3,46
	Plefs	8,42	5,39
dagegen:			
	Ratibor	38,92	28,33
	Neifse	38,67	29,75
	Gleiwitz	28,65	25,30

Also auch nach so langen Zeiträumen wurden gewisse Kreise stets milder, andere hingegen viel häufiger und heftiger heimgesucht[41].

Noch auffallender und lehrreicher ist aber die Immunität vieler volkreicher Städte und Stadtteile. Hierher gehört z. B. Lyon[42]. In dieser volkreichen, industriellen Stadt, die an der regsten Verkehrsstraße zwischen Paris und Marseille liegt, ist in der Choleraperiode 1832—1835 nicht ein einziger Cholerafall vorgekommen, trotzdem daß die Seuche sowohl in Paris als in Marseille heftig grassierte. In 1849 hatte Paris wieder eine heftige Choleraepidemie; in Lyon waren im Militärspitale thatsächlich einige Personen an der Cholera erkrankt, doch blieb die Stadt selbst auch diesmal von der Seuche verschont. In 1850 hatte Marseille eine heftige Choleraepidemie, Lyon wieder keinen einzigen Fall. In 1854 war die Cholera in Südfrankreich epidemisch und entwickelte sich diesmal auch in Lyon zur Epidemie, indem von der circa 300 000 Seelen betragenden Bevölkerung von Juli bis November 525 an Cholera verstarben; doch war die Krankheit nach Pettenkofer's Darstellung auffallend auf gewisse Stadtteile (Guillottière) beschränkt und ließ andere, z. B. auch die dichte Arbeiterbevölkerung von Croix-rousse unberührt. In 1855 hatte Marseille viel Cholera (1300 Tote), Lyon nur wenig (nicht einmal 100 Todesfälle). In 1865 ist die Cholera wieder sowohl in Paris als in Marseille epidemisch, Lyon hat aber alles in allem bloß 18 Todesfälle. In 1866 gab es in Lyon einige Cholerafälle unter den Packträgern der Bahnstation, aber zur Epidemie steigerte sich die Krankheit nicht. In 1873 war Südfrankreich von der Cholera wieder epidemisch ergriffen, Lyon blieb auch diesmal immun. Endlich wurden in 1884, als Südfrankreich von der Cholera heftig zu leiden hatte, in Lyon nur 27 Cholerafälle über das ganze Stadtgebiet zerstreut beobachtet; zu einer Epidemie kam es auch diesmal nicht.

Diese Cholerageschichte einer großen Stadt muß auffallen und zwingt uns anzuerkennen, daß dort etwas von Paris, Marseille und von den übrigen Städten Abweichendes vorhanden sein müsse, was den Infektionsstoff der Cholera trotz der ununterbrochenen Einschleppung an einer größeren Verbreitung hindert. Dieses Etwas kann nicht in der Individualität der Lyonesen gelegen sein, da auch die zahlreichen fremden Choleraflüchtlinge, die zu epidemischen Zeiten in Lyon zusammenströmen, von der Epidemie verschont bleiben; ferner kann es nicht in Wohnungs-, Ernährungs- und Wohlhabenheitsverhältnissen gelegen sein, weil diese von den z. B. in Marseille obwaltenden nicht wesentlich abweichen, und auch nicht im Trinkwasser, welches gerade in Lyon schlecht ist[43] (bis 1859 verunreinigtes Brunnenwasser, seit 1859 filtriertes Rhonewasser). Es verbleibt mithin als einzige Möglichkeit, die Ursache der Immunität mit Pettenkofer auf örtliche, namentlich auf Bodenverhältnisse zurückzuführen, obschon, wie Koch erwähnt, in Lyon die Sitte besteht, die Wäsche auf Barken in der Rhone, und nicht in den Häusern zu waschen, infolgedessen die Verschleppung der Infektionsstoffe geringer sein wird, als anderwärts[44]. Doch kann auch hierin die Ursache der Immunität offenbar kaum gelegen sein, weil ja auch in Paris in dieser Weise gewaschen wird und diese Stadt doch nicht immun ist.

Außer von Lyon wird eine mehr oder minder ausgesprochene Immunität noch von vielen anderen Städten behauptet[45], so z. B. von Frankfurt a. M., Würzburg, Stuttgart, Hannover, Innsbruck, Salzburg,

Fürth, Versailles, Rouen, Sedan, Cheltenham, Olmütz, Gödöllö, Peterhof u. v. a. (um bloß die häufiger citierten zu erwähnen), ferner auch von einzelnen Stadtteilen, im Vergleich zu den übrigen, wie für Lyon bereits erwähnt worden; so hat auch in Nürnberg die Sebalder Seite im Jahre 1854 eine heftige Epidemie gehabt, die Lorenzer Seite und Fürth blieben dagegen sowohl diesmal, als in den übrigen Cholerajahren immun (Pettenkofer)[46]. Auch in Budapest tritt die Cholera ein jedesmal in den inneren Stadtteilen viel gelinder auf, als in den Vorstädten, namentlich auf dem vormals durch einen Donauarm durchzogenen, jetzt angeschütteten halbkreisförmigen Terrain der letzteren[47]. Eine sehr auffallende Erscheinung, die für die Abhängigkeit der Cholera von lokalen Verhältnissen spricht, ist die an vielen Orten gemachte Beobachtung, daß die Cholera auch nach längeren Intervallen neuerdings in denselben Straßen, ja sogar in denselben Häusern ausbricht und heftig vorherrscht, so z. B. in Speyer in 1866 und 1873 (Pettenkofer)[48], in Wien in 1831 und 1855 (Suess)[49] und in München (Pettenkofer)[50].

Man kann also aus alledem schließen, daß einzelne Länder, Gegenden, Städte und Stadtteile thatsächlich von der Cholera überhaupt weniger ergriffen werden, als andere. Hieraus geht ferner hervor, daß die Cholera nicht bloß von den in den Entleerungen enthaltenen Keimen und deren Verbreitung durch den Verkehr abhängig sein kann, sondern daß diese Keime auch außerhalb des menschlichen Körpers ein gewisses Schicksal erfahren müssen, und daß es ein oder mehrere örtliche Faktoren geben müsse, durch welche die Vermehrung oder Virulenz der Keime gefördert oder behindert wird.

Doch darf man die erörterte Immunität nicht überschätzen und nicht glauben, daß die Cholera an gewissen Orten überhaupt nicht imstande wäre, Wurzel zu fassen. Absolut immune Orte giebt es eigentlich nicht, überall hat man durch die eingeschleppten Keime auch die ansässige Bevölkerung ergriffen werden gesehen, selbst in Lyon; der Unterschied beschränkt sich bloß auf das Erkrankungsverhältnis. An manchen Orten hat die Cholera viel geringere Chancen zur Ausbreitung, als an anderen. Man darf auch nicht vergessen, daß die Mehrzahl der Orte, wie auch der Menschen, selbst zu epidemischen Zeiten der Einwirkung der Cholerakeime überhaupt widersteht. So wie selbst während der schwersten Epidemien an den epidemisch ergriffenen Orten von 100 Einwohnern 90 und mehr auch ohne besondere Vorsichtsmaßregeln der Cholera entgehen, und nur einzelne, die der Infektion ausgesetzten oder noch eher die irgendwie disponierten, ergriffen werden: so sieht man auch von 100 Ortschaften die meisten von einer Epidemie verschont bleiben, und nur wenige, die besonders exponierten oder disponierten, ergriffen werden. So blieb z. B. in Indien während der heftigen Cholera des Jahres 1882 selbst in den epidemisch heimgesuchten Distrikten die Mehrzahl der Gemeinden, namentlich im Distrikte Lacknau (Luknow) 79,2 Proz., im Distrikte Bara-Banki sogar 86,3 Proz. aller Ortschaften ohne Epidemie[51].

Diese Beobachtung wird übrigens auch in Europa allgemein gemacht. Gruber berichtet von der österreichischen Cholera in 1885/86, daß die Seuche in der Umgebung von Triest alles in allem in 119 Ortschaften auftrat, von welchen aber 51 bloß je einen Fall aufwiesen, und daß es nur in 32 Gemeinden zu einer epidemischen Entwickelung kam[52].

Wenn man weiter die Verbreitung der Cholera in einzelnen Städten verfolgt, so ist es eine ganz gewöhnliche Erscheinung, daß die Seuche sich nicht gleichmäßig über die ganze Stadt, sondern bloß auf einzelne Teile derselben ausbreitet, und daß die überwiegende Mehrzahl der ergriffenen Häuser inmitten der Epidemie verschont bleibt. Ebenso wird die Cholera sich in der Mehrzahl der ergriffenen Häuser in der Regel auf 1—2 Fälle beschränken, und nur ganz ausnahmsweise trifft man Häuser, wo die Cholerafälle sich häufen.

Insbesondere in den letzten Jahren hat die Cholera in den europäischen Städten nur ausnahmsweise heftige Epidemien verursacht; in den meisten, besonders in den gut verwalteten, ist sie milde verlaufen oder überhaupt gar nicht aufgetreten.

Demnach wird man sich nicht so sehr darüber wundern, warum manche Dörfer, Städte oder Stadtteile während einer Choleraepidemie immun bleiben, sondern vielmehr zu erforschen haben, was wohl die epidemische Entwickelung der Cholera in manchen Orten verursachen mag.

Bodenverhältnisse, welche die Cholera begünstigen.

Wenn man untersucht, durch welche örtlichen Verhältnisse die Verbreitung der Cholera beeinträchtigt, und durch welche sie gefördert wird, so müssen einem zunächst die örtlichen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse ins Auge fallen. Die Cholera ist, wie vorausgeschickt worden, ein Kind der Tropen und kommt in kalten Gegenden überhaupt nicht vor (Hirsch); ferner ist aus den die Verbreitung der Cholera schildernden Karten und Beschreibungen zu entnehmen, daß die Choleragebiete meist auf Ebenen und mit feuchtem Boden versehene Gegenden fallen, z. B. in Indien auf die Gangesniederungen, in Europa auf die Ebenen in Rußland, Polen, Ungarn, Deutschland u. s. w., während die trockenen Gebiete, wie Pandschab, Multan in Indien, ferner Arabien, Persien, Aegypten, die Schweiz, Tyrol u. a. weniger zu leiden haben.

Für die lokale Einwirkung der Feuchtigkeit spricht besonders, daß die Cholera vorwiegend die Flüsse entlang fortschreitet, was Pettenkofer für die bayrischen, andere für die in anderen Gegenden studierten Epidemien wiederholt bestimmt nachgewiesen haben, und was besonders auch durch die Verbreitungsart der Cholera in Indien bewiesen wird.

Auch die Choleraimmunität erhöht gelegener Orte ist auffallend oft beobachtet worden. Für London hat dieselbe Farr nachgewiesen, indem dort pro 1000 der Bevölkerung in verschiedenen Höhen über dem Themsespiegel Choleratodesfälle beobachtet wurden (Hirsch):

Ueber dem Themsespiegel	1848/49	1853/54	1866*)
80′ und mehr	1,5	1,3	—
60—80′	2,5	2,7	0,4
40—60′	4,4	1,6	1,7
20—40′	6,2	3,3	7,6
10—20′	6,0	5,0	8,8
3—10′	8,9	9,4	8,9
unter 3′	14,5	10,7	16,7

*) In den von der Cholera ergriffenen E- und NE-Distrikten.

In Budapest links der Donau zeigten die bloß um 1—2 m tiefer gelegenen Gebiete höhere Choleraziffern, als die erhöhtere Umgebung; die meisten Cholerafälle kamen auf dem (mit Kehricht und Schlamm) angeschütteten, aber gegen die Umgebung auch jetzt noch etwas vertieften halbkreisförmigen Gebiete vor, welches einst von einem Donauarm durchflossen war[53].

In einigen Fällen hat man aber gerade in den höheren Stadtteilen heftige Choleraepidemien beobachtet, so z. B. in Gibraltar; doch hat Pettenkofer nachgewiesen, daß gerade diese hochgelegenen Stadtteile die schmutzigsten sind. Andererseits hat man auch tiefgelegene Gebiete immun gefunden, wenn dieselben übermäßig feucht waren. So hat Pettenkofer für die moorigen Gebiete in Bayern, wo der Boden von Wasser übermäßig durchfeuchtet ist, nachgewiesen, daß die Cholera hier nur gelinde auftrat. Ob diese Erfahrung durch die übermäßige Feuchtigkeit oder durch den Reichtum des moorigen Bodens an Humusstoffen zu erklären ist, bleibt fraglich.

Auch mit der Verunreinigung des Bodens nehmen die Verheerrungen der Cholera zu, wie Pettenkofer bereits in seinen ersten Arbeiten[54] und auch in den späteren wiederholt hervorhebt. Ein von Sielen und Kehrichtgruben verunreinigter Boden ist an den von Cholera befallenen Orten gefunden, resp. angenommen worden von Cordes[55] in Lübeck, Günther[56] in Dresden, Mayer[57] in Ebersberg und Ingolstadt, Volz[58] in Heilbronn, ferner in Thorn[59], Magdeburg[60], Unterstraß[61], und die englischen Aerzte haben überhaupt in den von der Cholera ergriffenen englischen Städten und Stadtteilen den Boden verunreinigt gefunden[62]. Fodor hat in Budapest für die Epidemien der Jahre 1866 und 1872/73 die von Cholera stark befallenen und die im Gegenteil frei gebliebenen Häuser auf dem ganzen Stadtgebiet zerstreut, aber stets neben oder nahe zu einander ausgewählt und die in denselben im Jahre 1877/78 durch Bohrung entnommenen Bodenproben chemisch untersucht, wobei sich folgende Verunreinigungsverhältnisse des Bodens ergaben[62]:

In den (82) Cholerahäusern und (102) cholerafreien Häusern enthielt der Boden in den Tiefen von 1, 2 und 4 m durchschnittlich im Kilo Erde organischen Stickstoff:

	< 100	100—200	200—400	400 <
	Milligramme			
von den Cholerahäusern in	1,6 Proz.	23.6 Proz.	50,6 Proz.	24,2 Proz.
„ „ cholerafreien Häusern in	16,4 „	30,5 „	34,2 „	18,9 „

Wie ersichtlich, war der Boden in den cholerafreien Häusern um vieles reiner, und wie die nämlichen Untersuchungen ergaben, in den Cholerahäusern viel häufiger in Fäulnis begriffen (reich an Ammoniak). Doch muß auch konstatiert werden, daß z. B. alte Städte und Stadtteile (z. B. in Budapest die inneren) weniger ergriffen werden, als neuere Städte und Stadtteile (in Budapest), trotzdem daß im Boden der ersteren Jahrhunderte alte Unreinigkeit aufgehäuft ist, in letzteren aber die Verunreinigung erst jetzt anfängt; doch ist auch das unleugbar, daß dort in den dichter bewohnten Teilen die Straßen, Höfe, Häuser und Wohnungen reiner gehalten sind, hier aber der Boden an seiner Oberfläche mehr verunreinigt ist.

Aus diesen Erörterungen ist also in der That ersichtlich, daß eine Reihe von Bodenverhältnissen auf die Verbreitung der Cholera von

augenfälligem Einfluß ist, nämlich die vertiefte Lage, die eine Permeabilität voraussetzende Feuchtigkeit und Verunreinigung, welchen gegenüber erhöhte, trockene Lage, eine Feuchtigkeit und Verunreinigung ausschließende oder vermindernde Kompaktheit des Bodens als der Cholera ungünstige Bodenverhältnisse erscheinen. Wir wollen aber die zur Immunität führenden Bodenverhältnisse noch genauer betrachten.

Pettenkofer legt für das Zustandekommen der Immunität das größte Gewicht auf eine Undurchlässigkeit des Bodens für Luft, Wasser und Unreinigkeit. Dieser Bedingung würde zunächst ein kompakter, felsiger Untergrund entsprechen, doch muß wiederholt betont werden, daß, wenn ein Ort auf „Fels" liegt, hieraus jene Kompaktheit des Bodens noch keineswegs folgt, weil der Fels häufig zerklüftet, in anderen Fällen mit Detritus überdeckt ist — wie z. B. in den Cholera-Ortschaften des Karstgebietes —, und weil endlich der Felsboden selbst durchlässig sein kann, wie es der Sandstein auf Malta und der Kalkfels in Gibraltar thatsächlich ist. Auch ein Lehmboden bedingt, nach demselben Forscher, Immunität, wenn unter demselben eine Kieslage sich befindet und das Grundwasser nicht bis in den Lehm heraufreicht; einer solchen auf Kies gelagerten Lehmschwarte schreibt Pettenkofer die Immunität gewisser Orte in und bei München (Haidhausen, Dorf Berg am Laim), und ebenso auch das Verschontbleiben eines großen Internates inmitten eines Choleraherdes in London während der Epidemie im Jahre 1866 zu. Dieses seltenere Auftreten der Cholera auf kompaktem, felsigem Boden und ihre größere Verbreitung auf Alluvialboden findet sich auch bei zahlreichen anderen Autoren hervorgehoben (vgl. Hirsch).

Gegenüber dem kompakten ist ein poröser, feuchter, verunreinigter Boden nach Pettenkofer's Ansicht für die epidemische Verbreitung der Cholera unerläßliche Bedingung, weil der Infektionsstoff nicht im menschlichen Körper, sondern bloß in einem solchen Boden produziert werden kann, so sehr, daß z. B. Schiffe, die einen solchen Boden nicht an Bord führen, immun sind.

Diese Ansicht, welche dem Boden spezifische und unerläßliche — bald die Cholera reproduzierende, bald aber, infolge von Nichteignung zur Reproduktion des Cholerastoffes, die Choleraepidemien ausschließende — Fähigkeiten beimißt, kann aber, wie man sich überzeugen wird, nicht mit dem erwünschten Nachdruck begründet werden, ja mit einer Reihe von Thatsachen steht sie in direktem Widerspruch.

Zunächst muß hervorgehoben werden, daß wir selbst an den immunsten Orten die gekennzeichneten Bodenverhältnisse, welchen nach Pettenkofer die Immunität zuzuschreiben wäre, nicht in voller Reinheit antreffen, ja daß immune und nicht immune Lokalitäten häufig genug vollkommen analoge Bodenverhältnisse aufweisen.

So hat Lyon wohl in einem Teil des Stadtgebietes Gneisboden, welcher aber zumeist mit einer Lehmschwarte bedeckt ist. Ganz den gleichen Boden besitzen in der Nähe von Lyon auch mehrere Dörfer, die trotzdem von der Cholera schwer zu leiden hatten. Die übrigen Stadtteile von Lyon liegen gleichförmig auf Flußsand und Kies und verhalten sich zur Cholera doch verschieden: im Jahre 1854 hatte die Guillotière von der Cholera zu leiden, die Broteaux aber nicht (Koch)[64]. Hier giebt es also einerseits (in den Dörfern) Felsboden, wie der immune Teil von Lyon, welcher aber nicht immun ist, andererseits

porösen, feuchten, von den immunen Teilen Lyons verschiedenen Boden, welcher trotzdem gleichfalls immun ist (Broteaux).

Hinsichtlich der übrigen immunen oder disponierten Städte werden die Bodenverhältnisse sehr ungenau und meistens auch widersprechend angegeben. So berichtet Koch, daß ein Teil von Bombay auf reinem Felsboden (Trapp, Basalt, mit 1,25 — 2,35 Porenvolumen), der andere aber auf Alluvium resp. Anschüttung liegt; die Cholera sei auf allen diesen Teilen in gleichem Grade vorherrschend. Auch in Genua hatten die auf impermeablem Felsboden gelegenen Stadtteile im selben Maße von der Cholera zu leiden, wie die auf Anschüttung gelegenen. Demgegenüber blieben in Neapel die auf sehr porösem Felsen (36,3 Proz. Porenvolumen) gelegenen Stadtteile von der Cholera verschont. Es waren also die dichten Bodenarten in Genua und Bombay verseucht, der poröse Boden in Neapel war es aber nicht. Ferner hat Koch hinsichtlich der erwähnten immunisierenden Lehmschwarte in London betont, daß dieselbe nicht auf die immune Schule beschränkt ist, sondern sich auch auf die von Cholera ergriffene Umgebung erstreckt. Auch Leipzig hat lehmigen Untergrund, wurde aber trotzdem durch die Cholera oft und heftig heimgesucht.

Dann berichtet Gruber von der österreichischen Choleraepidemie in 1885—86, daß das Dorf Hrib in der Nähe von Triest, wo die Felsplatten fast überall zu Tage liegen und die Hausmauern meist unmittelbar auf dem Felsen stehen, doch von 381 Einwohnern 11 Tote verloren hat (VI. intern. hyg. Kongreß). Ebenso berichtet Celli, daß die Cholera in der Provinz Neapel (Resina) auch Häuser, welche auf kompakter Lava aufgeführt waren, arg heimsuchte (Annali de l'Instit. d'igiene sperim. di Roma, 1889).

Auf diese und ähnliche Einwände hat Pettenkofer[65] erwidert, daß der Felsboden von Genua überaus porös und feucht (40 Vol.-Proz. Wasser), und der Boden dieser Stadt überhaupt großenteils „durchlässig“ ist. Mit Bezug auf Bombay verweist dieser Forscher auf andere Fälle, wo man auch den Boden für kompakten Fels gehalten hatte, und es sich nachträglich herausstellte, daß dem nicht so sei; auch in Bombay giebt es vielleicht eine poröse Bodenschicht auf dem felsigen Untergrund, und daher mag die Cholera rühren.

Daß der Choleraboden sozusagen immer porös ist, darf uns nicht wunder nehmen; das ist sogar natürlich, da ja die Erdoberfläche in den meisten Städten von Detritus bedeckt ist, und überdies mit der Zeit von neuen Schichten Bauschutt bedeckt wird. Die wichtigere Aufgabe wäre aber, zu erforschen, ob immune Gebiete, Städte, Stadtteile und Häuser im Vergleich zu anderen wirklich irgendwelche spezifische Bodenverhältnisse aufweisen, ob der Boden hier wirklich kompakt, trocken und rein ist, ferner ob alle Städte und Gemeinden, die einen solchen Boden besitzen, auch wirklich immun sind.

Aus den mitgeteilten Beobachtungen ist ersichtlich, daß dieses parallele Einhergehen von Immunität und kompaktem, reinem, trockenem Boden nicht einmal für Lyon klar bewiesen wurde, um so weniger für die übrigen, nicht so eingehend untersuchten und bekannten mehr minder immunen Städte. Andererseits wurde gezeigt, daß die Cholera auch auf kompaktem Boden thatsächlich vorkommt, sodaß die immunisierende Wirkung eines kompakten Bodens nichts weniger als durch Thatsachen bewiesen ist. Weiterhin sprechen zahlreiche Thatsachen dafür, daß auch Städte mit porö-

sem, feuchtem und aller Wahrscheinlichkeit nach verunreinigtem Boden immun sein können. Pettenkofer äußert sich auch selbst dahin, daß der Boden von Salzburg und Innsbruck diesbezüglich vom Münchener nicht verschieden ist, und doch sind jene Städte relativ immun, während München von der Cholera befallen wird.

Der Vorstellung, als ob die Cholera bloß im Boden und unter spezifischen Verhältnissen sich entwickeln würde, widerspricht auch die Erfahrung, daß die Seuche oft auf sehr kleine Gebiete, einzelne Häuser oder gar Hausteile begrenzt bleibt. Pettenkofer sieht in dieser Beschränktheit gerade einen Beweis dafür, daß die Cholera nicht durch Berührung übertragen wird, sondern von der Lokalität, vom Boden der Häuser abhängig ist[66]. Wenn man Cholerakarten, z. B. den Plan von Budapest, betrachtet, wird man sehr häufig immune und verseuchte Häuser unmittelbar nebeneinander finden. Pettenkofer hat einige solche Fälle genauer untersucht und thatsächlich einen Unterschied im Untergrund der Häuser — hier eine Lehmschwarte, dort Mangel derselben u. Ae. — gefunden; doch sind dies seltene Ausnahmen, und wird ein solcher von Haus zu Haus wechselnder, örtlich und zeitlich verschiedener Boden in der Regel nicht nur nicht zu finden, sondern nicht einmal wahrscheinlich sein, so z. B. in den verseuchten und immunen Nachbarhäusern in Budapest. Offenbar hat die eine Kategorie Häuser ihre Immunität nicht dem spezifischen Boden zu verdanken, so wie die Verseuchtheit der anderen nicht auf spezifische Bodenverhältnisse zurückgeführt werden muß (vgl. auch weiter unten auf S. 187).

Nach alledem muß man sagen, daß weder die Immunität, noch die Disposition für Cholera auch nur mit einiger Gesetzmäßigkeit an gewisse spezifische Bodenverhältnisse gebunden ist; in der Mehrzahl der Fälle gelingt es nicht, die Immunität auf einen kompakten, trockenen und reinen Boden zurückzuführen, und die Verseuchung mit einer Spezificität des Bodens oder der Bodenverhältnisse zu motivieren. Noch weniger sind wir imstande, die Immunität oder Disposition einer Lokalität aus dem Boden und den Bodenverhältnissen zu diagnostizieren oder anzugeben, durch welche Maßregeln eine Lokalität bestimmt zu immunisieren wäre, und wann und wo die Immunität erreicht ist oder nicht. Alles in allem kann nur so viel konstatiert werden, daß einzelne Städte, Dörfer und Stadtteile von der Cholera in höherem Maße heimgesucht werden als andere, und daß die Cholera im großen Ganzen auf einem porösen, tiefliegenden, verunreinigten und feuchten Terrain häufiger auftritt, als auf einem kompakteren, erhöhteren, reineren und trockneren Boden.

Nichtsdestoweniger liegt aber in dieser bloß relativen Bedeutung des Bodens und der Bodenverhältnisse eine wichtige hygienische Thatsache, denn obschon sie den Boden seines Charakters als einzigen und unerläßlichen Ursprungsort und Regulator der Choleraverbreitung entkleidet, gesteht sie dennoch den Bodenverhältnissen bei dieser Verbreitung eine nicht zu vernachlässigende Rolle zu.

Pettenkofer hat, um zu beweisen, daß der Boden zur Produktion des Cholerastoffes unerläßlich ist, angeführt, daß die Cholera auf Seeschiffen sich nicht epidemisch entwickelt, weil eben hier der Infektionsstoff, aus Mangel an einem spezifischen Boden, nicht repro-

duziert wird; auf hoher See sollen höchstens solche Personen an Bord erkranken, die in Berührung mit dem Festlande hier mit dem Choleraprodukt der Erde infiziert wurden und dieses mit sich an Bord nahmen. Die Litteratur beweist aber, daß die Cholera auf Schiffen häufig und heftig genug auftritt, besonders wenn man bedenkt, daß auf Schiffen Choleraentleerungen, Schmutz und Leichen sofort ins Meer versenkt und dadurch auch die Quellen der Infektion gewöhnlich rasch beseitigt werden, ferner daß eine Reproduktion der Infektionsstoffe auf den leicht abspülbaren geteerten Flächen unschwer zu verhindern ist. Insbesondere sind Fälle bekannt, in welchen die Cholera auf Schiffen so lange anhielt, daß es nicht angeht, anzunehmen, daß alle diese Fälle noch auf dem Festlande infiziert worden wären, da ja das Inkubationsstadium der Cholera ein sehr kurzes ist, sodaß der Infektionsstoff sich thatsächlich auf dem Schiffe, ohne Vermittelung des Bodens, reproduziert haben[67] mußte. So zeigten sich z. B. auf dem „Matteo Bruzzo", welcher im Jahre 1884 von Genua mit Auswanderern nach Montevideo fuhr, während 52 Tagen unausgesetzt neue Cholerafälle, obschon das Schiff während der ganzen Zeit kein Land berührt hatte; aber auch der „Apollo" hatte im Jahre 1849 eine heftige Schiffscholera, welche, ohne Berührung von Land, 56 Tage anhielt (Koch). Auf dem „Franklin", welcher mit 611 Passagieren von Stettin nach New York fuhr, traten auf der Ueberfahrt vom 10. Oktober bis 16. November insgesamt ca. 200 Erkrankungen auf, von welchen 43, mithin mehr als 7 Proz. der Passagiere, an Cholera starben (Virchow). Pettenkofer selbst beschreibt mehrere Schiffsepidemien, in welchen auf hoher See während längerer Zeit immer wieder neue Cholerafälle auftraten[68]. So war z. B. der „Windsor Castle" am 12. Juli 1866 von Gravesend mit 6 Offizieren, 351 Soldaten und Unteroffizieren und 35 Frauen in See gegangen. Alsbald zeigten sich Diarrhöen und dann Cholera, welcher 8 Soldaten und Matrosen erlagen. Die letzte Erkrankung trat am 15. September, also 65 Tage nach Verlassen des Festlandes auf. Pettenkofer ist der Meinung, daß die erkrankten Personen den Infektionsstoff noch auf dem Festland aufgenommen hatten, weil von den Offizieren niemand, und von den Matrosen ein einziger erkrankte, ferner weil das Schiff rein und gut gelüftet war und alles desinfiziert wurde. Es scheint aber eher, daß sich in den von den Soldaten bewohnten Schiffsräumen ein Choleraherd gebildet hat, wo der Infektionsstoff regeneriert wurde, wie man das auch beim Gelbfieber beobachten kann. Hier wurden natürlicherweise nur die Soldaten angesteckt, während die Matrosen verschont blieben. So viel ist klar, daß die Cholerakeime nicht im Körper der Soldaten 65 Tage lang latent geblieben sein konnten, um diese dann der Reihe nach krank zu machen, sondern daß sie auf dem Schiffe auch ohne Vermittelung des Bodens sich erhielten und vermehrten.

Demnach ist die Reproduktion des Infektionsstoffes bei der Cholera keineswegs an den Boden allein gebunden, und der Boden ist kein unerläßliches Medium zum Gedeihen und zur Reproduktion der Cholerakeime.

Das zeitliche Verhalten der Cholera und der Boden.

Eine sehr auffällige Erscheinung ist das Gebundensein der Choleraepidemien an gewisse Jahreszeiten. Dies gilt insbesondere für die

gemäßigte Zone, wo der Unterschied zwischen den Jahreszeiten sehr groß ist. Von der unzählbaren Reihe der einschlägigen Daten spricht Pettenkofer's folgende Zusammenstellung[69] am deutlichsten.

	Summe der Cholera-Todesfälle in			
	Preufsen	Sachsen	Bayern	
Monat	1848—59	1836—74	1836—74	Insgesamt
Januar	2 317	17	555	2 889
Februar	842	4	132	978
März	214	0	73	287
April	112	0	38	150
Mai	446	2	7	455
Juni	4 392	45	2	4 439
Juli	8 480	372	39	8 891
August	33 640	1 964	3 306	38 910
September	56 561	4 167	4 661	65 389
Oktober	35 271	2 401	1 298	38 970
November	17 530	572	891	18 993
Dezember	7 254	262	1 057	8 573

Es läßt sich also die Uebereinstimmung nicht verkennen, mit welcher die Choleraepidemien im August, September und Oktober kulminieren, dagegen im März, April und Mai auf das Minimum abfallen. Ganz gleich lauten auch die in anderen Ländern gesammelten Erfahrungen; Hirsch hat die Ausbruchszeit (nicht die Akme) von 920 außerhalb Indiens beschriebenen Choleraepidemien notiert und gefunden, daß dieselbe fiel auf die Monate:

Dezember	bis	Februar	in	42	Epidemien
März	„	Mai	„	136	„
Juni	„	August	„	549	„
September	„	November	„	193	„

Diese Angaben gestatten keinen Zweifel über den maßgebendsten Einfluß von außerhalb des menschlichen Körpers gelegenen Faktoren auf die epidemische Verbreitung der Cholerakeime; denn man kann sich doch kaum vorstellen, wie die Jahreszeiten eine innerhalb des Körpers stattfindende Bildung von Infektionsstoff so auffallend beeinflussen sollten, so wie auch in der Berührung der Menschen untereinander, im menschlichen Verkehr an einen solchen Unterschied nach Jahreszeiten kaum zu denken ist.

Am leichtesten wäre diese Erscheinung dadurch erklärbar, daß bei **anhaltender** Wärme die Vermehrung der Cholerakeime außerhalb des menschlichen Körpers gefördert und erleichtert, dagegen bei **anhaltender** Kälte erschwert wird. Für uns handelt es sich hier aber um die Frage, ob bei diesem zeitlichen Verhalten der Cholera Bodenverhältnisse mitspielen.

Man kann nicht verkennen, daß das zeitliche Verhalten der Cholera sich mit der Erwärmung und Abkühlung des Bodens besonders gut deckt, da die Akme der Epidemien auf diejenigen Monate (August, September) fällt, in welchen die oberflächlichen Bodenschichten eben am wärmsten, und aufs Minimum abfällt, wenn diese am kältesten sind (im März und April). Mit der Lufttemperatur ist die Koinzidenz bei weitem nicht so vollkommen, da ja die relativ warmen Monate Mai und Juni weniger Cholera aufweisen, als die viel kühleren Oktober und November. Delbrück[70] und Pfeiffer[71] haben auch behauptet, daß die Cholera von den Temperaturverhältnissen der oberflächlichen (1 m)

Bodenschichten abhängig ist. In Budapest (Fodor) war die Cholera im Jahre 1866 auffallend spät, erst im September ausgebrochen und hat lange (den Oktober hindurch) angehalten. Die Bodentemperatur erhob sich dieses Jahr in 1,17 m Tiefe im Oktober auf 16,08 ° C., während das Mittel aus den Jahren 1867—1871 bloß 15,07 betrug.

Trotzdem kann aber ein engeres Verhältnis zwischen der Erwärmung des Bodens und dem epidemischen Vorherrschen der Cholera mit auch nur einiger Sicherheit nicht nachgewiesen werden, einerseits weil diese Krankheit in Europa relativ selten und nur für kurze Zeit erscheint, und es auch über diese Dinge an entsprechenden Beobachtungen mangelt, andererseits weil andere Erscheinungen auf die Möglichkeit verweisen, daß es auch ohne Erwärmung des Bodens zu Epidemien kommen kann. Hierher gehören die zahlreichen Winter- und Frühjahrsepidemien. So war die Cholera in München im Jahre 1873 im Monat August ausgebrochen, in den folgenden Monaten bis November trotz der Wärme des Bodens abgefallen, dagegen im Dezember und im Januar 1874 wieder auf ihre Akme gestiegen[72]. In Indien (z. B. in Calcutta, Bombay, Madras[73]) geht die erhöhte Wärme der oberflächlichen Bodenschichten gerade mit einer Abnahme der Cholera einher, was man übrigens nicht überschätzen darf, da dort der Unterschied zwischen warmem und kaltem Boden kaum einige Grade ausmacht.

Insbesondere wäre es verfrüht, die ausschlaggebende Rolle der Bodenwärme für bewiesen zu halten, da ja diese im Vergleich zur Luft beobachtete Verspätung in den Wärmeextremen nicht ausschließlich im Boden, sondern auch im Brunnen- und Hauswasser, in den Häusern und Wohnungen, in den hier gehaltenen Lebensmitteln, dem angehäuften Schmutz etc., welche auch im August und September am wärmsten und zur Zersetzung am meisten geeignet sind, zur Geltung kommt.

Es ist also möglich, daß an der epidemischen Verbreitung der Cholera im allgemeinen auch die Wärme des Bodens ihren Anteil hat, doch kann man nicht feststellen, inwiefern der zeitliche Eingriff dieses Faktors ein ausschließlicher oder ein mit den Wärmeverhältnissen anderer Gegenstände (Wohnungen, Gewässer etc.) in die Wirkung sich teilender ist. So viel aber kann gänzlich ausgeschlossen werden, daß die Wirkung der Bodenwärme eine spezifische und eine zur Entwickelung der Cholera unerläßliche ist.

Daß die Cholera auf einem feuchten Boden, neben Flüssen häufig, dagegen auf trockenen, regenarmen Gebieten selten vorherrscht, haben wir schon oben gezeigt. Es wird aber weiter behauptet, daß dieselbe auch mit den zeitlichen Schwankungen der Bodenfeuchtigkeit, den Regenfällen und dem Grundwasser parallel verläuft.

In Indien, wo das Jahr hauptsächlich in zwei Abschnitte, die Regenperiode und die regenlose Jahreszeit zerfällt, und wo infolgedessen auch die Grundwasserschwankungen nach Jahreszeiten mit großer Regelmäßigkeit verlaufen, wurden die fraglichen Verhältnisse von vielen, namentlich von Macpherson[74], Lewis und D. Cunningham[75], Cornish[76], Bryden[77], Bellew[78], und auf Grund der von diesen Forschern gelieferten Daten durch Hirsch und insbesondere Pettenkofer[79] verglichen. Doch kann uns das Ergebnis dieser Untersuchungen keineswegs befriedigen, weil durchaus kein, auch nur einigermaßen konstantes Verhältnis von allgemeinem Charakter zwischen Regenfällen und den durch diese bewirkten Grundwasserschwankungen und den Choleraepidemien zu erkennen ist. In Calcutta und Bombay geht aus den

Mittelwerten für Regenmenge und Cholerafälle während einer langen Reihe von Jahren hervor, daß die Cholera parallel mit der Trockenheit zunimmt, mit eintretendem Regen aber abfällt, und zwar ist diese Abnahme schon mit beginnenden, noch geringen Regenfällen erkennbar und wird mit dem andauernden Regen immer bedeutender. Nach Ablauf der Regenzeit sieht man dann die Cholera wieder ansteigen, anfangs langsam, dann während der trockenen Monate rascher, bis sie mit den ersten Spuren von Regen neuerdings abzunehmen beginnt. In Madras hingegen nimmt die Cholera inmitten der größten Trockenheit ab und steigt auch wieder an, um mit der eintretenden Regenperiode aufs neue mäßig abzunehmen.

Aus der von Koch und Gaffky nach Macmamara ausgeführten großen Tabelle (No. 23) über die Cholera in Calcutta [80] ist gleichfalls zu entnehmen, daß die Cholera im großen Ganzen mit dem Eintritt und während der Dauer der Regenzeit abnimmt und während der trockenen Jahreszeit wieder ansteigt; doch ist ein auch nur einigermaßen gesetzmäßiger Zusammenhang ganz und gar nicht vorhanden. So hat sich die Cholera vom 11. bis 17. August 1868, trotz starker Regenfälle, nicht einmal gerührt, war aber nach denselben bedeutend angestiegen; mit dem heftigen Platzregen am 9. Juni 1869 fällt die Cholera am selben Tage ab, um nachher die frühere Höhe zu erreichen. Die starken Regenfälle im Juni desselben Jahres zeigen nicht den geringsten Einfluß. Und überhaupt fällt auf die sehr regnerischen Monate Juni bis Oktober 1866 ein viel höherer Cholerastand, als auf die trockenen Monate Januar bis Mai 1870—74.

Ebenso ist auf Taf. 29 des Berichtes von Koch und Gaffky zwischen Cholera und Grundwasserstand ein Zusammenhang bloß im allgemeinen erkennbar. Im großen Ganzen fallen tiefe Grundwasser- und hohe Cholerastände zusammen, doch sieht man die Cholera schon zu einer Zeit bedeutend zurückgehen, als das Grundwasser noch fortgesetzt im Fallen begriffen ist.

Wenn also weder für die Regenverhältnisse, und noch weniger für die Grundwasserschwankungen nicht einmal in Indien ein engerer Zusammenhang mit der Cholera nachgewiesen werden kann, so muß man mit Recht voraussetzen, daß der Zusammenhang dieser drei Momente überhaupt kein besonders fester sein kann, und daß weder Regenfälle noch Grundwasserschwankungen in dem Maße entscheidende, gewichtige oder gar spezifische Faktoren sein können, daß es von ihnen abhängen würde, ob die Cholera zu epidemischer Entwickelung kommt oder ausbleibt.

Einen solchen Zusammenhang zu beweisen oder auch nur zu beleuchten, sind die in Europa angestellten Beobachtungen noch weniger geeignet. Hier erscheint die Cholera bloß als zeitweiliger Gast, ihr Vorherrschen an einzelnen Orten ist von kurzer Dauer und namentlich auf die warme Jahreszeit beschränkt; andererseits sind die über Regen- und noch mehr die über Grundwasserverhältnisse vorliegenden Daten lückenhaft und unzulänglich, ganz abgesehen davon, daß unter hiesigen Verhältnissen die Feuchtigkeitszustände des Bodens weder in den Regenfällen noch im Grundwasserstand verläßlich zum Ausdruck gelangen. Es wird daher nur natürlich erscheinen, wenn man in dieser Richtung befriedigende Resultate nicht einmal erwarten kann, obschon Pettenkofer mit bewunderungs- und achtungswürdiger Emsigkeit und Ausdauer bestrebt war, auch hier in Europa die Cholera mit den Regen-

fällen und mit den etwa vorhandenen wenigen Grundwasserdaten zu vergleichen.

So hebt Pettenkofer z. B. hervor, daß der ganz ausnahmsweise Lyoner Ausbruch im Jahre 1854 gerade mit einem trockenen Jahre und tiefen Stand der Rhone zusammenfiel, wogegen Koch anführt, daß im Jahre 1854 der Wasserstand wohl durchschnittlich niedrig war, aber gerade vor und während des Choleraausbruches eine ungewohnte Höhe erreichte, ganz abgesehen davon, daß von den zwei benachbarten und identische Boden- und Grundwasserverhältnisse besitzenden Stadtteilen Broteaux und Guillotière bloß der erstere verschont blieb [81].

Dann beruft sich Pettenkofer auf München, wo die Cholera im August 1873 epidemisch auftrat, aber im Lauf der Monate September, Oktober und November bedeutend zurückging, jedoch im Dezember dieses und im Januar des nächsten Jahres wieder, und zwar auf noch bedeutendere Höhe anstieg. Diesen Verlauf erklärt er damit, daß im August starke Regenfälle und, parallel mit denselben, ein starkes Steigen des Grundwassers auf die Cholera hemmend wirkten, während später die Trockenheit und das Sinken des Grundwassers die Seuche wieder hervortreten ließen. Doch hatte München im Jahre 1854 nach dem sehr regnerischen Juli im August, der noch regnerischer war, eine heftige Choleraepidemie, welche auch in dem auffallend regenarmen Monat September mit großer Heftigkeit andauerte [82]. Während ferner die Cholera in München im Zeitraum von 1835—1884 durchschnittlich nach mehreren regnerischen Monaten im gleichfalls regnerischen August ihren Höhepunkt erreichte, dann parallel mit der Regenmenge abnahm, trat im Gegenteil in Genua die Akme der Epidemien während desselben Zeitraumes nach mehreren trockenen Monaten inmitten der Trockenheit im August ein, und fiel die Cholerafrequenz mit zunehmenden Regenmengen wieder ab [83].

Indem wir die unübersehbare Anzahl lokaler Angaben übergehen, nach welchen die Choleraepidemien an einzelnen Orten nach trockenem Wetter mit den Regenfällen, an anderen im Gegenteil nach Regenwetter mit der eintretenden Trockenheit, oder in beiden Fällen auftraten, und wo sie (in Ermangelung von Grundwasseruntersuchungen) mit den Flusswasserständen verglichen, bald mit dem Steigen, bald mit dem Fallen des Flußspiegels angeblich parallel verliefen *): müssen wir

*) Nach Budapest war die Cholera im Jahre 1866 schon im Juli eingeschleppt worden, doch kam es weder in diesem, noch im folgenden Monat zu einer Epidemie; der August war regnerisch, und auch die Donau stand hoch, während im September beide zurückgingen, wo dann auch die Cholera rapid zu beträchtlicher Höhe anstieg. Im Jahre 1872 waren die Monate Juli, August, September und auch noch Oktober regnerisch; die Cholera brach erst im November aus und blieb mild. In 1873 hatten hingegen Regenmengen und Donauwasserstand schon im Juli bedeutend abgenommen und blieben es auch später; auch die Cholera kam im Juli zu heftiger Verbreitung und erreichte ihre Akme im August (Fodor). Dieses Verhalten würde also für eine cholerahemmende Wirkung von Regen und Grundwassersteigung sprechen. Doch ist schon während der Epidemie in 1886 sowie in 1892 ein Zusammenhang zwischen Regenfällen und Cholera nicht zu erkennen. Juli, August waren in 1886 äufserst trocken, doch brach die Cholera erst im September aus und war im regnerischen Oktober am heftigsten; im Jahre 1892 waren August, September und besonders Oktober regnerisch: die Cholera brach Ende September aus und erreichte im regnerischen Oktober eine epidemische Ausbreitung. Auch während der Triester Epidemie in 1885/86 liefs sich nur einigermafsen erkennen, dafs Regenfälle die Cholera auf kurze Zeit hemmen [84]. Hauser schreibt dem Regen während der spanischen Epidemie in 1884—85 einen bedeutenden Einflufs zu, und nach diesem Autor würden Regenfälle am Anfange der Epidemie die Cholera steigern [85].

konstatieren, daß ein gesetzmäßiger Zusammenhang der Cholera mit den Regenfällen nicht, und mit dem Grundwasser (schon aus Mangel an Daten) noch weniger nachgewiesen werden kann. Daß die Cholera ein und das andere Mal — und zwar in der Mehrzahl der Fälle — mit Trockenheit oder sinkendem Stand von Flüssen und Grundwasser zusammenfällt, kann ganz gut ein Zufall sein, da ja die Cholera die wärmere Jahreszeit bevorzugt, welche in unseren Breitegraden gleichzeitig auch die trockenere ist.

Ebensowenig sind wir imstande, zwischen dem zeitlichen Verhalten der Cholera und dem Verlauf der Zersetzungsprozesse im verunreinigten Boden einen ausgesprochenen Kausalnexus oder eine Parallelität nachzuweisen; denn obschon die Cholera in Europa ihre Akme nicht im Juni oder Juli, sondern mehr während der Augustwärme erreicht, was dafür sprechen würde, daß dieselbe mit der Durchwärmung der oberflächlichen (1 m) Bodenschichten und nicht mit der atmosphärischen Wärme synchronisch sich entwickelt: darf man nicht vergessen, was ich wiederholt betonen will, daß zu dieser Zeit außer dem Boden auch noch vieles andere auf das Maximum erwärmt sein wird, so die Gewässer, Nahrungsmittel, Wohnungen, Höfe, Siele und andere Schmutzsammler, welche man neben dem Boden nicht einfach ignorieren kann. Im Vorkommen der Cholera zur kühleren Jahreszeit und gar im Winter und Frühjahr, wenn der Boden am inaktivsten ist, liegt sogar eine Thatsache vor, welche die spezifische, unerläßliche Rolle der Verunreinigung des Bodens und dessen Zersetzung geradezu ausschließt. Am wenigsten scheinen aber die in den tieferen Bodenschichten obwaltenden Verhältnisse mit der Cholera in Verbindung zu stehen, indem dort die wichtigsten Veränderungen (die maximale Durchwärmung) zu einer Zeit eintreten, wenn die Cholera durchschnittlich bereits in Abnahme begriffen ist. Deshalb kann auch eine Beteiligung des Grundwassers, welches in der Regel doch in den tieferen Schichten auf die Feuchtigkeit einwirkt, nicht nur nicht nachgewiesen werden, sondern ist nicht einmal wahrscheinlich.

Auch die bekannten biologischen Eigenschaften der Cholerabacillen lassen ein Mitwirken der tieferen Bodenschichten bei der Cholera als nicht wahrscheinlich annehmen, da diese Bakterien viel kurzlebiger sind und ein zu großes Bedürfnis für Wärme und Sauerstoff haben, als daß sie in die tieferen Bodenschichten hinabfiltrieren, hier gedeihen und dann wieder an die Oberfläche gelangen und alldas überleben könnten. Gegen einen bestimmenden Einfluß der tieferen Bodenschichten spricht ferner die Beobachtung, daß die Cholera in alten, also auch in den tieferen Schichten offenbar stärker verunreinigten Städten und Stadtteilen oft weniger heftig auftritt, als in den neueren Teilen, wo der Boden in der Tiefe noch reiner, aber an der Oberfläche um so mehr verunreinigt ist (Budapest). Endlich muß die zeitlich rasche Entwickelung von Choleraepidemien in großen Städten eine jede Theorie als unannehmbar erscheinen lassen, welche die Vermehrung und Verbreitung des Cholerakontagiums von was immer für einer im Boden verlaufenden Reifung oder Züchtung abhängig macht, da es hierzu auch an Zeit gebricht*).

Nach alledem zeigen weder die örtlichen noch die zeitlichen Bodenverhältnisse irgendeinen spezifischen Zu-

*) Bei der Hamburger Epidemie in 1892 war die Zahl der Erkrankungen bis zum 20. August insgesamt auf 85, aber am 27. bereits auf tägliche 1102 Erkrankungen gestiegen, was eine wahrhaftige Explosion ist (Hueppe) 86.

sammenhang mit der Verbreitungsart der Cholera, dieselben können mithin auch nicht als entscheidende und unerläßliche Motive zur Reproduktion der Cholerakeime außerhalb des menschlichen Körpers angesprochen werden. Die Pettenkofer'sche Ansicht läßt sich also in ihrer Exklusivität nicht beweisen.

Andererseits bleibt aber unleugbar, daß die Vermehrung und Verbreitung der Cholerakeime mit dem menschlichen Körper und mit dem Verkehr allein nicht zu erklären ist, und daß hierbei auch außerhalb des menschlichen Körpers obwaltende zeitliche und örtliche Momente bestimmt mitbeteiligt sind. Worin bestehen also diese außerhalb unseres menschlichen Körpers gelegenen örtlichen und zeitlichen Faktoren? Sind dieselben vom Boden abhängig?

Der Boden und das Choleramiasma.

Nägeli meinte[87], daß der siechhafte Boden gewisse specifische Miasmapilze produziert, welche in den menschlichen Körper gelangen und hier den Chemismus der Säfte so weit verändern, daß die jetzt eindringenden spezifischen Kontagien-(Cholera-)pilze eine günstige Zuchtstätte vorfinden. Doch ist die Nägeli'sche sogenannte diblastische Theorie keineswegs verständlicher und mit den Erfahrungsthatsachen auch nicht leichter in Uebereinstimmung zu bringen, als die Pettenkofer'sche monoblastische Theorie, von welcher Nägeli's Annahme eigentlich nur darin abweicht, daß sie die spezifischen Bodenverhältnisse nicht für die Cholerabakterien, sondern für jene anderen, die Cholera fördernden, für diese Seuche disponierenden unbekannten Bakterien in Anspruch nimmt.

Einen spezifisch siechhaften Boden giebt es aber, wie gezeigt wurde, nicht, und der Boden ist zur Reproduktion der Cholerakeime überhaupt nicht unerläßlich; es wird also auch einen spezifisch disponierenden Boden oder in solchem Boden produzierte spezifisch disponierende Bakterien offenbar überhaupt nicht geben.

Das örtliche und zeitliche Verhalten der Cholera ist viel leichter zu verstehen, ohne daß man zu gewissen unerläßlichen spezifischen Bodenverhältnissen seine Zuflucht nehmen müßte, wenn man zunächst die biologischen Eigenschaften der Cholerabakterien in Betracht zieht, welche mit dem örtlichen und zeitlichen Verhalten der Choleraepidemien so sehr übereinstimmen, daß man, falls nicht die Koch'schen Bacillen die Ursache der Cholera wären, als solche zu mindest einen Organismus von ganz analogen biologischen Eigenschaften annehmen müßte.

Vor allem ist konstatiert, daß die Cholerabacillen zu den außerhalb des menschlichen Körpers am leichtesten vegetierenden, am raschesten sich vermehrenden, aber auch am raschesten zu Grunde gehenden Bakterienarten gehören. Zur raschen Vermehrung bedürfen sie kaum mehr als einer feuchten und warmen Oberfläche. Ihre Reproduktionsfähigkeit steigt und sinkt mit der Temperatur, hört aber selbst bei den stärksten Frösten nicht auf. Neben der Wärme ist ihnen ein gewisser Grad von Feuchtigkeit unerläßliches Lebensbedürfnis, und durch Austrocknen werden sie am wirksamsten vernichtet. Die Cholerabacillen gedeihen bei entsprechender Temperatur auch auf dem feuchten Boden,

besonders auf der Oberfläche sehr rasch, in den tieferen Schichten aber minder gut; doch ist dasselbe der Fall auch auf allen sonstigen feuchten Oberflächen, auf Mauern, Fußböden, Möbeln, Nahrungsmitteln und nicht minder in Pfützen, Flüssen und Brunnenwasser etc., insofern die nötige Wärme vorhanden ist. Und alle diese Medien sind ebenso wie der Boden gerade zur Zeit der Choleraepidemien am wärmsten, also zur Reproduktion der Cholerakeime am meisten geeignet, und auch ihre Feuchtigkeitsverhältnisse stimmen mit den Bedingungen der Bodenfeuchtigkeit überein.

Könnte nicht dies der Grund sein, warum die Verbreitung der Cholera mit gewissen Wärme- und Feuchtigkeitszuständen des Bodens zusammentrifft? Erklärt nicht dieses biologische Verhalten der Cholerapilze, warum die Cholera auch unter den verschiedensten Bodenverhältnissen und auch trotz derselben oder gar ohne Boden überhaupt (auf Schiffen) sich zur Epidemie zu entwickeln vermag? Die Cholerabakterien finden bei ihrer Anspruchslosigkeit und ihrer raschen Vermehrungsfähigkeit die nötigen Wachstumsbedingungen, Wärme und Feuchtigkeit, unter den verschiedensten Umständen vor, — am reichlichsten wohl auf dem Boden, wenn dieser feucht und verunreinigt ist, doch auch anderswo, und die günstigste Jahreszeit für ihr Gedeihen wird die Sommermitte und der Herbst sein, zu welcher Zeit Boden, Häuser, Gewässer, Nahrungsmittel warm und zur Züchtung von Bakterien am meisten geeignet sind; doch kann die geeignete Temperatur auch im Winter, z. B. in Wohnungen gegeben sein.

Und es wird nur natürlich erscheinen, daß die Entleerungen der Cholerakranken nur ausnahmsweise auf direkte Weise zur Quelle einer Infektion für viele andere Menschen werden, also eine Epidemie erzeugen: dann nämlich, wenn sie z. B. ins Trinkwasser, in Wasserleitungen, in Milch u. a. gelangen. Wenn dagegen der Infektionsstoff sich außerhalb des menschlichen Körpers, in der Umgebung der Wohnungen, im Wasser und in Nahrungsmitteln vermehrt, so kann dies viel leichter zu einer massenhaften Reproduction derselben, resp. zu Massenerkrankungen führen.

Als der eine örtliche und zeitliche Faktor bei der örtlichen und zeitlichen Verbreitung der Cholera kann also alles figurieren, was in der Umgebung der Menschen ein für das Gedeihen der Cholerabakterien günstiges Substrat liefert, wenn dieses die nötige Wärme und Feuchtigkeit besitzt. Insbesondere kann es auch der Boden sein, dort, wo derselbe feucht und verunreinigt, also hauptsächlich wo er niedrig gelegen, durch Flüsse oder hohes Grundwasser feucht gehalten ist, und durch Schmutz in den Wohnungen verunreinigt wird, — und dann, wenn derselbe feucht und warm ist.

Einfluß des Bodens auf die individuelle Disposition.

Der andere örtliche und zeitliche Faktor bei der Entfachung einer Choleraepidemie ist der Schmutz und die Unreinigkeit mit ihren örtlichen und zeitlichen Verhältnissen, welche wieder einerseits ein Substrat für das Gedeihen der Cholerabakterien liefern, andererseits aber die Disposition der Bevölkerung beeinflussen.

Fodor hat schon in älteren Arbeiten[88] ausgeführt, daß die Cholera besonders mit dem Schmutz und dessen Verhältnissen einen

Zusammenhang erkennen läßt. Alles, was in der Umgebung der Menschen, nicht nur in, sondern auch auf dem Boden, ferner in Luft, Wasser, Wohnungen, Nahrungsmitteln etc. zur Anhäufung von Schmutz und dessen Zersetzungsprodukten führt, wirkt auf die epidemische Verbreitung der Cholera fördernd, wogegen die Cholera mit der Reinlichkeit jener Substrate parallel abnimmt und in ihrer epidemischen Verbreitung aufgehalten wird. Fodor hat auf Grund seiner Budapester Untersuchungen mit Entschiedenheit ausgesprochen, daß die epidemische Verbreitung der Cholera das Produkt zweier Momente ist: einerseits der infizierenden Cholerasubstanz, andererseits der individuellen Disposition, welche durch den schmutzigen Boden, durch schmutziges Wasser und unreine Luft erzeugt wird. Und je schmutziger der Boden, auf welchem gewisse Menschen wohnen, je unreiner das Wasser, welches sie genießen, und je unreiner die Luft ist, die sie einatmen, um so mehr steigert sich ihre Empfänglichkeit für die Krankheit. Ebenso wird eine Bevölkerung an einem gegebenen Orte dann am empfänglichsten für die Cholera sein, wenn die Zersetzung der Schmutzstoffe zur höchsten Intensität gestiegen ist. Fodor führte des weiteren aus, daß Schmutz und Zersetzung am wahrscheinlichsten auf die Art eine Disposition zur Cholera erzeugen, daß sie in der Bevölkerung Diarrhöen und Magenkatarrhe hervorrufen und so die Widerstandskraft des Organismus gegen die spezifischen Cholerainfektionsstoffe vermindern*).

Zum Beweise, daß die Cholera nicht bloß von den Bodenverhältnissen, sondern überhaupt von Schmutz und Unreinigkeit beeinflußt ist, wies Fodor darauf hin, daß die Cholera in Budapest nicht nur mit der Verunreinigung des Bodens und Wassers[89], sondern auch der Wohnungen[90] parallel um sich gegriffen, und mit der Reinheit dieser Medien parallel abgenommen hat.

Reinheit oder Schmutz in Wohnhäusern und Höfen zeigten an sich einen so entscheidenden Einfluß auf die Verbreitung der Cholera, daß, während in den, anläßlich der in 1878/79 ausgeführten Revision, rein befundenen Häusern, in den Cholerajahren 1866 und 1872/73 auf je 10000 Bewohner 90 Todesfälle vorkamen, die unrein befundenen Häuser 420 Choleratote hatten, wobei in Rechnung gezogen werden muß, daß die Behörde die verdächtigen Häuser, besonders die polizeilich als verseucht gemeldeten, energisch hat reinigen lassen, sodaß ein Teil der in 1878/79 rein befundenen Häuser in 1866 und 1872/73, als sie die 90 Choleratoten pro 10000 Bewohner hatten, noch zu den schmutzigen gehört haben mag. Der Unterschied in der Choleramortalität in den äußerlich reinen oder unreinen Häusern dürfte daher noch bedeutender gewesen sein, als er durch die Zahlen 90 und 420 ausgedrückt ist, obschon auch dieser sehr bedeutend genannt werden muß. Hier will ich nochmals hervorheben, daß die schmutzigen und die reinen, die verseuchten und die cholerafreien Häuser regellos durch das ganze Stadtgebiet zerstreut, oft unmittelbar nebeneinander lagen, sodaß ihre örtlichen und zeitlichen Bodenverhältnisse offenbar ganz oder nahezu identisch, also ihre Immunität und Verseuchtheit viel weniger durch spezifische Bodenverhältnisse, als durch die oberflächliche Reinheit oder den Schmutz verursacht waren.

---

*) Ganz in ähnlichem Sinne äußern sich bezüglich des Schmutzes als disponierenden Momentes auch D. Cunningham (Uffelmann's Jahresber. für 1889), dann Flügge (Die Verbreitungsweise und Abwehr der Cholera, Leipzig 1893, S. 68).

Einfluß des Bodens auf die Choleraepidemien.

Wenn man den Schmutz mit seinen örtlichen und zeitlichen Verhältnissen der Cholera mit ihren örtlichen und zeitlichen Verhältnissen gegenüberstellt, so wird man die Erklärung für das örtliche und zeitliche Verhalten der Cholera gewiß viel natürlicher geben können, als wenn man nach einem spezifischen Boden und spezifischen zeitlichen Bodenverhältnissen forscht.

Den Unterschied zwischen immunen und nicht immunen Orten kann man in der oberflächlichen Unreinigkeit viel mehr und konstanter erkennen, als in der Verunreinigung der tieferen Bodenschichten und in den Schwankungen des Grundwassers. Offenbar werden auch die Provinzen Posen und Preußen von den Rheinlanden und Westphalen mehr in Reinlichkeit als hinsichtlich des spezifischen Bodens und der Grundwasserverhältnisse verschieden sein. Und so sind auch in Budapest die immune innere und Leopoldstadt, was oberflächliche Reinlichkeit anbelangt, den später bevölkerten von Cholera heimgesuchten Vorstädten überlegen.

Mit der Wirkung des Schmutzes läßt sich auch erklären, warum an Choleraorten die arme und unreinliche Volksklasse in der ganzen Ortschaft so auffallend große Verluste erleidet. So war in Budapest während der Choleraepidemien in 1886 und 1892 das Verschontbleiben der reinlicheren wohlhabenden Klassen überall in der ganzen Stadt der unreinlicheren Volksklasse gegenüber geradezu augenfällig. Auch anläßlich der Choleraepidemie in Triest im Jahre 1885/86 stimmen alle Beobachter darin überein, daß die „Cholera eine Krankheit der Armen ist“ (Gruber)[91].

Wenn man sieht, wie in von der Cholera ergriffenen Orten nebeneinander gelegene Häuser, und sogar die einzelnen Teile eines und desselben Hauses ein verschiedenes Verhalten zur Cholera zeigen, so kann man dies — wie oben (S. 187) ausgeführt wurde — nicht damit erklären, daß unter den einzelnen Häusern oder Hausteilen der Boden und die Grundwasserschwankungen verschieden sind, und daß unter einem Hausteile spezifische Immunität, unter dem anderen aber eine spezifische Choleraproduktion besteht, wie das Pettenkofer thut, sondern man wird, abgesehen von der Möglichkeit einer zufälligen Infektion mit Choleradejekten, annehmen müssen, daß die bescheidenen Cholerabacillen in der ergriffenen Wohnung doch eine Gelegenheit zur Fortpflanzung fanden, in der anderen, wenn auch nachbarlichen, aber nicht, — daß dieselben dort eine disponiertere, unreinlichere, hier eine minder disponierte Bevölkerung angetroffen haben. Und wenn man ferner sieht, daß die Cholera weitaus überwiegend die von ärmeren, unreinlicheren Volksklassen bewohnten Häuser und Stadtteile verheert, so wird man auch das nicht auf im Untergrund der Häuser bestehende spezifische Ursachen zurückführen können, sondern vielmehr von den über dem Boden bestehenden natürlichen Verhältnissen ableiten müssen.

Der Thatsache gegenüber, daß die Cholera in neuerer Zeit auf dem ganzen Erdball — von Indien bis Amerika — mit den Fortschritten der Civilisation parallel auffallend und rasch abnimmt und namentlich in den großen Metropolen bei neueren Invasionen immer weniger Terrain zu gewinnen vermochte, daß der überaus virulente Cholerastoff im Sommer 1892 weder Berlin, noch Leipzig, Dresden, Prag, Wien, Breslau etc. heimsuchte, obschon diese Städte noch vor kurzem schwer zu

leiden hatten, wird man die Ansicht nur schwer aufrecht erhalten können, als ob im Boden oder im Grundwasser etwas spezifisch Cholerawidriges entstanden, oder etwas spezifisch Cholerabegünstigendes verschwunden wäre, da ja, den ganzen Kontinent in Betracht gezogen, in den meisten der fraglichen Städte die Assanierung des Bodens nicht gar so außerordentliche Fortschritte gemacht hat, Bodenfeuchtigkeit, Grundwasser und sogar die Bodenverunreinigung sich nur wenig geändert haben. Andererseits ist aber in diesen Städten thatsächlich sehr viel auf dem Boden geschehen, was dessen die Cholera erzeugenden und für diese disponierenden Eigenschaften wesentlich zu beeinträchtigen imstande ist, wodurch die Oberflächen, auf welchen Schmutz und Cholerakeime haften und sich vermehren können, vermindert, und der die Bevölkerung zur Cholera disponierende Schmutz in Wohnungen, Höfen, Straßen etc. verringert wurden*).

Ganz ähnlich dürfte sich die Sache auch in Indien verhalten. Die relative Immunität von Multan hat ihren Grund nicht in spezifischen Bodenverhältnissen, sondern in der großen Trockenheit, welche der Fäulnis hinderlich ist und die zur Züchtung von Cholerabacillen geeigneten Bodenoberflächen austrocknet. Aehnlichen Ursachen und nicht spezifischen Boden- und Grundwasserverhältnissen verdankt offenbar auch Arabien und Aegypten seine relative Choleraimmunität. Auch die Abnahme der Cholera nach Regenfällen in Indien (und auch anderwärts) mag ihren Grund darin haben, daß der Regen den Schmutz vom Boden, den Höfen und Straßen wegschwemmt und dadurch die Oberflächen, welche Cholera züchten und zur Cholera disponiert machen, vermindert, gleichzeitig das Wasser in Pfützen und Tanks erneuert und auffrischt.

Diese Wirkungsart der Regenfälle durch Reinigung der Oberfläche und Auffrischen des Wassers findet sich auch bei indischen Aerzten, z. B. bei Payne in Calcutta betont (Koch-Gaffky)[92].

Man darf es füglich als ein großes Glück betrachten, daß die Choleraimmunität auf so einfachen und natürlichen Ursachen fußt, und daß es dazu keinerlei spezifischer Eigenschaften des Bodens und des Grundwasserstandes bedarf. Denn wenn die Cholera von letzteren abhängig wäre, hätten wir wenig Hoffnung, dieselbe in Indien zu bekämpfen und dadurch Europa zu sichern. Es läßt sich doch gar nicht vorstellen, daß man ganz Indien mit einem spezifisch immunen, kompakten und reinen Boden versehen und das Sinken des Grundwassers verhindern könnte; und ebensowenig könnte an eine Sicherung Europas gedacht werden, weil es unmöglich ist, den Boden überall kompakt zu machen und das Grundwasser zum Stillstand zu bringen. Der bekannte Rat Pettenkofer's, daß man alle gegen die Verschleppung des Cholerastoffes gerichteten Maßregeln verwerfen und dafür den Boden Europas immunisieren solle, weil, wenn das erreicht ist, die Cholera, wenn auch eingeschleppt, sich ebensowenig, wie in Lyon, ausbreiten wird, ruht nicht auf so festen Grundlagen, als so wichtige Maßnahmen, wie die Abwehr der Cholera, beanspruchen würden. Ueberdies ver-

*) In Wien, Budapest, Leipzig und Prag sind die Kanalisationsanlagen nichts weniger als befriedigend, auch nicht viel besser geworden, und trotzdem hat die Disposition dieser Orte für Cholera abgenommen, wogegen Hamburg mit seiner ältesten und relativ guten Kanalisation zu einem Choleraherd wurde. In Lyon ist das Grundwasser infolge Regulierung des Rhonebettes um einen Meter gefallen (Koch), und trotzdem wurde Lyon nicht zu einem Choleraort, sondern blieb immun, wie es war.

möchten wir nicht einmal anzugeben, in welchen Zustand eigentlich der Boden gebracht werden und was geschehen soll, um ihn immun zu machen, und wir wären nicht imstande, zu unterscheiden, wo diese Immunisierung bereits gelungen ist und wo nicht.

Doch ist die Cholera offenbar nicht von solchen spezifischen Bodeneigenschaften, sondern davon abhängig, wo und wann die Cholerakeime einen ihrer Erhaltung, Vermehrung und Uebertragung auf die Menschen günstigen Ort (Medium) und auf einen günstigen Zeitpunkt treffen, also eine warme und feuchte Oberfläche am Boden, in Gebäuden, Höfen, Straßen, auf Fußböden und Mauern, in Gewässern, Flüssen, Pfützen, Brunnen, in Nahrungsmitteln etc., und wo sie für diese Krankheit besonders disponierte, derselben weniger widerstehende Menschen, nämlich in Häusern mit verunreinigtem Boden, Wasser und Luftkreis wohnende, körperlich unreine, schlecht genährte und überhaupt arme Personen vorfinden.

So viel aber können wir mit Recht hoffen, daß es gelingen wird, diese Dinge, welche die Cholera auf der Oberfläche züchten, und die zur Cholera disponierenden Unreinigkeiten aus der Umgebung unserer Wohnungen zu entfernen und uns dadurch mit relativ geringer Mühe eine partielle Immunität zu sichern, welche um so beruhigender wirken muß, je mehr es außerdem gelingt, die Einschleppung der Keime einzuschränken oder die eingeschleppten Keime bei Zeiten zu vernichten und zu verhindern, daß sie in der Ortschaft überallhin verschleppt werden und hier und da doch eine günstige Zuchtstätte vorfinden könnten.

Wenn man, neben der Bekämpfung dieser Oberflächenbedingungen für die Fortpflanzung der Cholerakeime und für die Disposition auch noch die Fernhaltung von Unreinigkeit und Feuchtigkeit, Zersetzung und Infektion auch vom Innern des Bodens urgiert und erreicht, so wird unsere Hoffnung auf eine Verhütung von Choleraepidemien nur um so berechtigter sein.

Nach alledem müssen wir die Beteiligung des Bodens an der Verbreitung der Cholera wohl für wesentlich, aber keineswegs für ausschlaggebend und noch weniger für ausschließlich und spezifisch halten.

Die erhöhte Lage muß man als vorteilhaft anerkennen, weil dort die Oberfläche reiner und trockener sein, und weder das Gedeihen der Cholera, noch die Fäulnis fördern wird; wenn sie aber trotzdem verunreinigt ist, wie z. B. in den oberen Stadtteilen von Gibraltar, so wird es nur natürlich erscheinen, wenn die Cholera auch bei dieser erhöhten Lage sich ausbreitet. Andererseits kann auch die größere Disposition der ebenen, feuchten, im Boden verunreinigten Gebiete, Ortschaften, Stadtteile und Häuser dadurch erklärt werden, daß hier die Cholerakeime reichlichere Gelegenheit zum Gedeihen und mehr Schutz vor dem Austrocknen vorfinden, auch die Bevölkerung durch Schmutz und Fäulnis mehr disponiert ist. Auf derselben Grundlage halten wir den Boden im Sommer und Herbst, wenn er durchwärmt ist, zur Verbreitung der Cholera zeitlich disponiert, den im Winter und Frühling kalten Boden aber nicht. Zu dieser letzteren Jahreszeit müssen die Ursachen zur überhaupt seltenen und ausnahmsweisen Reproduktion der Cholera anderswo (in den geheizten Wohnungen oder eventuell in der Infektion von Wasser, Milch und Aehnlichem) bestehen.

Wir halten also auch die Assanierung des Bodens zur Abwehr und Einschränkung der Cholera für ein wichtiges, aber nicht für das einzige und sichere Mittel. Insbesondere werden wir die Reinhaltung der Oberfläche des Bodens urgieren, aber auch die tieferen Bodenschichten nicht vernachlässigen, weil diese mit ihrer Verunreinigung und Feuchtigkeit den Zustand der Gebäude und des Trinkwassers beeinflussen und dadurch einerseits die Chancen der Cholerabakterien zur Vermehrung, andererseits die Disposition der Bevölkerung für Cholera erhöhen können.

Die eingehendere Erörterung der Rolle, welche Wohnungen, Ernährung, Trinkwasser etc. bei der örtlichen und zeitlichen Verbreitung der Cholera spielen, gehört in andere Kapitel dieses Handbuches.

5) Beziehungen des Bodens zum Abdominaltyphus.

Oertliche Verhältnisse.

Buhl hat im Jahre 1865 die Grundwasserbeobachtungen, welche Pettenkofer in München zum Studium der Cholera anstellte, verwertet und die Schwankungen des Grundwassers mit denen der Typhusmortalität im Münchener Krankenhause verglichen. Dies führte ihn zu der überraschenden Thatsache[93], daß zwischen den Schwankungen des Grundwasserstandes und der Extensität und Intensität der Erkrankungen an Abdominaltyphus ein Zusammenhang besteht. Seitdem bildet der Kausalnexus zwischen Typhus und Bodenverhältnissen eine der wichtigsten und rätselhaftesten Fragen der Hygiene.

Die lokale Verbreitung des Typhus ist viel weniger beschränkt als die der bisher behandelten Krankheiten. Er ist nicht, wie Gelbfieber und Cholera, an gewisse Klimate gebunden, sondern kommt überall vor; es werden nicht einmal Gegenden oder Städte genannt, die durch eine besondere Disposition oder Immunität auffallen würden. Das am ehesten hervortretende lokale Moment ist noch, daß der Typhus in den großen Centren des kommerziellen und industriellen Verkehrs häufiger als in ländlichen Bezirken vorkommt (Hirsch)[94]. Die Behauptung von Mayne[95], daß der Typhus auf Urgesteinen weniger vorherrschend ist, als auf alluvialem Boden, wird höchstens ganz allgemein acceptiert, und von Colin[96] auch in diesem Sinne bestritten.

Trotzdem ist ein gewisser Unterschied hinsichtlich der örtlichen Disposition für Typhus in Städten nicht zu leugnen. Derselbe wird z. B. durch die Verbreitung des Typhus in Frankreich sehr gut illustriert, wo nach dem Bericht von Brouardel[97] die Typhusmortalität der einzelnen Departements überaus verschieden ist; an der Spitze stehen Corsica und die Süddepartements. Noch auffallender ist das Verhalten des Typhus unter dem Militär. Die mittlere Jahres-Typhusmortalität in verschiedenen Garnisonen betrug in den 13 Jahren 1872—84 pro 10000 Mann

in	Carcassonne	120,5
„	Troyes	117,4
„	Toulon	104,1
„	Brest	103,3

dagegen

in	Lille	3,7
„	Châlons s. M.	4,3
„	Arras	4,8
„	Douay	5,9

Der Unterschied beträgt somit mehr als das 30-fache, und können Lille, Arras etc., mit den übrigen Garnisonen verglichen, füglich immune Städte genannt werden, obschon es im Vergleich zu Carcassonne und Troyes industrie- und verkehrsreiche Orte sind.

Für örtliche Einflüsse spricht auch die Beobachtung, daß die Krankheit sich zähe an gewisse eng umschriebene Orte, Stadtteile, zuweilen an einzelne Häuser, im allgemeinen an Kasernen, Gefängnisse, Arbeiterkolonien, Waisenhäuser, Wirtschaftshöfe etc. hält[98].

Lehrreich ist auch die Beobachtung, daß die Seuche durch Typhuskranke an einen Ort eingeschleppt werden kann, und es hier trotz Verkehr mit den Kranken doch nicht zu einer Epidemie kommt. Solche Erfahrungen wurden in Deutschland im Kriegsjahre 1870/71 im großen Maßstab gesammelt, indem die unter den auf viele Orte verteilten französischen Gefangenen vorgekommenen Typhusfälle eine Verbreitung der Krankheit nicht bewirkten. In Lyon wurden während einer heftigen Typhusepidemie im Jahre 1874 die Schüler eines Internates nach Hause entlassen, wo viele von ihnen erkrankten, aber eine weitere Verbreitung der Seuche nicht verursachten (Rollet)[99].

Schon aus diesen Erscheinungen muß gefolgert werden, daß zur epidemischen Verbreitung des Typhusstoffes die einfache Ansteckung und Verschleppung durch Kranke, dann der industrielle und kommerzielle Verkehr für sich ganz und gar nicht ausreichen. Diese Verbreitung wird vielmehr durch örtliche Verhältnisse beeinflußt — nur frägt es sich, worin diese örtlichen Faktoren bestehen und welche Rolle unter denselben dem Boden zufällt. Denn daß beim Zustandekommen von Typhusepidemien außer dem Boden auch andere örtliche Faktoren regulierend mitwirken können, läßt sich nicht länger bezweifeln. Daß namentlich durch Typhuserreger infiziertes Wasser und Nahrungsmittel (Milch) Träger und Verbreiter derselben werden können, erhellt nicht bloß aus Beobachtungen, die in diesem Sinne gedeutet werden können, sondern geht schon aus den Ergebnissen direkter bakteriologischer Untersuchungen hervor. Die Würdigung der einschlägigen reichen Litteratur gehört aber in die Kapitel Wasser (Band I) und Epidemiologie (Band IX) dieses Handbuchs*).

Ebensowenig kann bezweifelt werden, daß der Typhus ohne alle Beteiligung des Bodens epidemisch werden kann, so z. B. auf Schiffen.

Ob aber bei alledem auch dem Boden eine Rolle in der Verbreitung des Typhus zufällt, und welche, das wollen wir im Folgenden untersuchen.

Die erhöhte oder tiefe Lage, dann die Feuchtigkeit des Bodens scheinen auch den Typhus, obschon nicht in der augenfälligen Weise, zu beeinflussen, wie die Cholera. In Budapest finden sich die Typhus-

---

*) Dafs auch das Trinkwasser ein Träger von Typhuskeimen sein kann, wird neuestens auch von den vornehmsten Anhängern der Pettenkofer'schen Schule, namentlich von Soyka[100] konzediert, und auch Pettenkofer[101] giebt eine Verbreitung der Typhuserreger durch Wasser zu.

fälle auf demselben vertieften Gebiet mit oberflächlichem Grundwasserstand gruppiert, wo auch die Cholerafälle sich, jedoch noch auffallender häuften[102]. In München zeigt der Typhus ein umgekehrtes Verhältnis zur Höhenlage des Bodens[103] und tritt näher zur Isar, in den tiefer und feuchter gelegenen Kasernen und Stadtteilen viel heftiger auf, als in den von der Isar entfernter, höher gelegenen (70,0 und 6,2 pro Mille Iststärke). Daß dieser große Unterschied einfach durch das Trinkwasser, oder durch den verschiedenen Unreinlichkeitsgrad der einzelnen Kasernen sollte verursacht sein — woran man beim Typhus auch denken könnte — läßt sich nach der von Port gelieferten Beschreibung doch nicht annehmen.

Es giebt aber auch beim Typhus, wie bei der Cholera eine große Anzahl widersprechender Beobachtungen, wo der Typhus gerade in den hochgelegenen Stadtteilen und Ortschaften, eventuell sogar heftiger vorherrschte, als in den nebenan tiefer gelegenen[104]; doch können solche Fälle immerhin als Ausnahmen gelten und werden auch durch die Berichterstatter so gedeutet.

Die Bodenverunreinigung findet man in den Typhusherden konstant erwähnt, nur daß sie leider meist nur auf Grund von Schätzungen darum behauptet wird, weil man in der Nähe der Typhushäuser schlechte Aborte, Kehrichtgruben, Schweineställe u. a. gefunden hat. Besonders reich an solchen Angaben sind die englischen Sanitätsberichte[105].

Zu Budapest hat Fodor in der bei der Cholera beschriebenen Weise (S. 175) Typhushäuser (99) und typhusfreie Häuser (97) untersucht und für den Kilo Erde im Mittel für 1, 2 und 4 m Tiefe folgende Mengen organischen Stickstoffs gefunden:

	Milligramme			
	< 100	100—200	200—400	400 >
Typhushäuser	4 Proz.	24,3 Proz.	45,8 Proz.	25,9 Proz. der Häuser
Typhusfreie Häuser	12 „	17,9 „	47,9 „	22,4 „

In den Typhushäusern war also der Boden durchschnittlich mehr verunreinigt. Dieselben Untersuchungen ergaben auch, daß der Boden dort häufiger in Fäulnis begriffen (reich an Ammoniak) war, als in den typhusfreien Häusern[106].

Am meisten stimmen die Beobachtungen darin überein, daß die an der Oberfläche verunreinigten Häuser die Typhushäuser sind. Die oben erwähnten englischen Berichte äußern sich einstimmig in diesem Sinne. Man beobachtet aber auch, daß der Typhus an Orten, wo eine vorübergehende, aber starke Ansammlung von Menschen stattfindet — wie z. B. in Lagern (Sebastopol, Plevna), bei großen öffentlichen Bauten — sich so außerordentlich rasch einstellt, daß die Verunreinigung noch unmöglich bis in die tieferen Bodenschichten konnte eingedrungen sein.

Der Einfluß der Grundluft auf den Typhus wurde von Vogt in Basel[107] behauptet, doch haben direkte Untersuchungen in dieser Richtung nichts Positives feststellen können (Fodor). Yersin berichtet neuestens[108], daß der Typhus in Meiringen wiederholt zu Zeiten auftrat, als der Boden durch Erdarbeiten aufgewühlt wurde. Diese an und für sich interessante Beobachtung kann aber als alleinstehend nicht schwer in die Wagschale fallen.

Beachtenswert ist auch der Umstand, daß Cholera und Typhus nicht für dieselben Orte Vorliebe zeigen. Lyon, wo die Choleraimmunität am ausgesprochensten ist, hat vom Typhus stark zu leiden, und auch

Versailles, Stuttgart, Würzburg und andere gegen Cholera immune Orte sind Typhusstädte (Pettenkofer)[109].

Nach alledem kann man konstatieren, daß der Typhus mit den örtlichen Verhältnissen, mit einer vertieften, feuchten Lage und Verunreinigung des Bodens wohl einigen Zusammenhang erkennen läßt, doch zeigt sich dieser Nexus nicht mit einer strengeren Gesetzmäßigkeit. Wenn wir also einerseits als wahrscheinlich behaupten können, daß der tiefgelegene, feuchte, verunreinigte Boden auf die epidemische Verbreitung des Typhus ganz allgemein in irgend einer Weise einzuwirken scheint, sind wir andererseits doch nicht berechtigt, zu behaupten, daß dieser Einfluß irgendwie entscheidend und unerläßlich wäre.

Zeitliche Verhältnisse.

Wir wollen nun den Boden und den Typhus auf ihre zeitlichen Verhältnisse vergleichen.

Zunächst können wir konstatieren, daß die auffallende Abhängigkeit von der Wärme und Jahreszeit, welche bei der Cholera so charakteristisch ist und für eine ektogene Vermehrung der Choleraerreger am entschiedendsten spricht, beim Typhus beinahe gänzlich vermißt wird, indem diese Krankheit nicht die Vorliebe für warme Gegenden und Jahreszeiten zeigt, wie die Cholera*).

Hirsch giebt die Morbiditäts-, resp. Mortalitätszahlen für Typhus nach Jahreszeiten von 23 europäischen und amerikanischen Großstädten (darunter auch aus Schweden, Bayern und Nassau), woraus die folgende Verteilung des Sterbe- und Erkrankungsverhältnisses auf die einzelnen Jahreszeiten erhellt. Von 100 Todesfällen entfielen auf den

Frühling	Sommer	Herbst	Winter
16,5	23,5	35,5	24,5

Der Unterschied zwischen den einzelnen Jahreszeiten ist zwar nicht bedeutend, doch zeigt der Herbst immerhin die höchste, das Frühjahr die niederste Verhältniszahl.

Nach einer neueren Zusammenstellung, in welche Soyka 13 Städte einbezogen hat[111], entfallen von den einzelnen Jahreszeiten auf den

Frühling	Sommer	Herbst	Winter
20,8	23,0	30,2	24,7

Auch hier tritt der Unterschied zwar in ähnlichem Sinne, aber noch geringer hervor. Es giebt aber Städte, wo der Typhus im Winter und sogar im Frühjahr häufiger auftritt, als in den übrigen Jahreszeiten. So fällt die maximale Typhusmortalität in München auf den Winter, in Wien und Prag auf das Frühjahr. In Budapest fand ich die größte Typhussterblichkeit für die Jahre 1863—1887 im

Frühling	(März bis Mai)	6 mal
Sommer	(Juni bis August)	9 „
Herbst	(September bis November)	4 „
Winter	(Dezember bis Februar)	6 „

*) Nach Brouardel[110] beträgt die Anzahl der Typhustodesfälle des französischen Militärs auf 10000: in Frankreich 28,9, in Algier 43,84, und in Tunis sogar 149,23. Ob das wohl dem wärmeren Klima und nicht vielmehr den Occupationsbeschwerden zugeschrieben werden mufs? Ich halte letzteres für wahrscheinlicher.

das heißt: die meisten Typhustodesfälle wurden im Sommer, die wenigsten im Herbst registriert*).

Solche Widersprüche sind imstande, die Beobachtung, daß die allgemeinen Mittelwerte den Herbst als Typhusjahreszeit charakterisieren, aller Bedeutung zu entkleiden. Der Typhus ist an keine Jahreszeit gebunden.

Jene Beobachtungen aber, wonach Typhusepidemien auch im Winter, Frühling und Sommer kulminieren, lassen es überhaupt zweifelhaft erscheinen, ob der Typhus durch was immer für biologische Prozesse im Boden (Zersetzung, Bakterienproduktion), ob in den oberflächlicheren oder tieferen Schichten, überhaupt beeinflußt würde, da ja der Boden bekanntermaßen im Winter und Frühjahr am kältesten ist, und zwar von der Oberfläche bis auf die tieferen Schichten hinab, und infolgedessen allem organischen Leben, besonders einem bakteriellen, sich feindlich entgegenstellt.

Demgegenüber steht aber der Buhl-Pettenkofer'sche zeitliche Zusammenhang zwischen Typhus und Grundwasserschwankungen. Soyka hat eine Anzahl einschlägiger Daten zusammengestellt[112], namentlich einerseits die Monatswerte von Typhusfällen und Grundwasserstand, andererseits die jährliche Anzahl der Typhussterbefälle mit den Jahresmitteln der Grundwasserstände für eine längere Reihe von Jahren verglichen und behauptet, daß in den von ihm eingehender untersuchten Städten (d. i. München, Berlin, Bremen, Frankfurt a. M. und Salzburg) „der Rhythmus des Abdominaltyphus im allgemeinen der umgekehrte Rhythmus der Grundwasserschwankungen ist", ferner daß „einer jeden größeren Typhusepidemie ein tiefer Stand des Grundwassers, einem jeden besonders hohen Stand des Grundwassers eine geringere Frequenz des Typhus entspricht".

Aus der von Soyka gegebenen graphischen Darstellung der Grundwasser- und Typhusschwankungen geht dieser Rhythmus in der That mit aller Entschiedenheit hervor. Höchstens könnte man aus den Kurven eher die ursprüngliche Folgerung von Buhl herauslesen, daß nämlich der Typhus bei dem auf einen hohen Stand folgenden Sinken des Grundwassers am intensivsten zunimmt, da es in den Tafeln von Soyka vorkommt, daß das Grundwasser noch weiter und lange anhaltend sinkt, während auch schon der Typhus abzunehmen anfängt, und daß wieder dieser noch weiter abnimmt, wenn das Grundwasser bereits im Steigen begriffen ist. Am auffallendsten ist jene Uebereinstimmung gerade in München in den Jahren 1856 bis 1881; doch blieb auch in München der Typhus seit 1881 fortwährend auf einem tiefen Stand und hat sich trotz sinkendem Grundwasser nicht wieder, wie in den vorangegangenen 25 Jahren, erhoben — der Zusammenhang zwischen Typhus und Grundwasser hat in München seit 1881 aufgehört (Vergl. Taf. I. S. 200).

Die Beweiskraft dieser Daten wird noch durch folgende Thatsachen er-

*) In der Typhusepidemie von 1864/65, der gröfsten, welche Budapest in den letzteren Jahrzehnten aufzuweisen hat, kulminierte die Sterblichkeit in den Monaten Dezember bis März, in 1867 war das im April bis Juni, in 1867/68 im Dezember bis März, in 1873 im Juni bis August, in 1874 im Mai bis Juli, in 1877 im April bis Juli der Fall, also den Herbst ausgenommen, wurde Kulmination einer Epidemie zu jeder Jahreszeit beobachtet.

höht: in Berlin und Frankfurt a. M., wo das Grundwasser im März und April rapide sinkt, fängt die Typhussterblichkeit im Mai und Juni an rapid zuzunehmen, und da die Infektion infolge der langen Krankheitsdauer und der Inkubation wenigstens um $1—1^1/_2$ Monate vor der Ablebenszeit stattgefunden hat, fällt die Typhusinfektion zeitlich genau mit dem Sinken des Grundwassers zusammen. Wichtig ist ferner, daß in München sowohl das Sinken des Grundwassers im Juli und August, also viel später als in Berlin und Frankfurt a. M. eintritt, als auch das Ansteigen der Typhusmortalität mit entsprechender Verspätung, im Oktober bemerkbar ist, sodaß die Zunahme der Infektionen auch hier mit dem Sinken des Grundwassers zusammenfallen mußte, obschon zu einer ganz anderen Jahreszeit.

Man hat wiederholt versucht, diese Typhusschwankungen nicht mit dem Grundwasser, sondern mit den Regenfällen zu vergleichen, und in der That verhalten auch diese sich ganz analog zum Typhus, wie das Grundwasser, was leicht verständlich ist, da ja die Ursache der Grundwasserschwankungen in der zeitlichen Verteilung der Regenmenge ihre vornehmste Quelle hat. Die Uebereinstimmung ist aus den Münchener Daten[113] sehr gut zu entnehmen, wo die Mittelwerte für jährliche Regenmengen, Grundwasser und Typhusfälle zusammengestellt sind. (S. Taf. I, S. 200.)

Außer in den genannten Städten hat man auch anderswo eine solche Gegenseitigkeit von Typhus und Grundwasserschwankungen, resp. Regenfällen beobachtet oder wenigstens behauptet, — obschon zumeist auf Grund von entfernt nicht so exakten Beobachtungen, wie die obengedachten, — so in Paris (Vallin), in London (Latham[114]), in Prag (Przibram und Popper[115]), in Michigan (Baker[116]), in Hamburg (Reincke[117]), in Köln (Flatten[118]) u. a. m.

Diese Angaben sind jedenfalls auffallend und verdienen — besonders die von Soyka beschriebenen und auf genauer untersuchte 5 Städte bezüglichen — volle Beachtung. Trotzdem können wir den Einfluß des Grundwassers auf den Typhus doch nicht als allgemein giltiges ätiologisches Gesetz bewiesen erachten, und das aus mehreren Gründen.

Erstens weil die meisten Angaben über Typhus und Grundwasserschwankung auf ganz unzulänglichen Beobachtungen fußen, einer Kritik, im Sinne des unter Grundwasser Kapitel III Seite 68 Hervorgehobenen, gar nicht standhalten können. Jene 5 genauer beobachteten Städte aber, die Soyka in Betracht zog, bilden wohl ein allzu geringfügiges Material, um eine so wichtige, mysteriöse, mit anderen wissenschaftlichen Angaben im Widerspruch stehende Sache endgiltig zu beweisen. Dann ist die Zusammenstellung von Soyka einseitig, weil sie die widersprechenden Daten ignoriert, und bloß die zustimmenden berücksichtigt. So sind z. B. gleich die umfassenden und eingehenden Arbeiten Fodor's über Typhus und Grundwasser in Budapest[119] unberücksichtigt geblieben. Fodor hat in Budapest für die Jahre 1863 bis 1880 den Typhus mit den Regenfällen und Donauwasserständen, für 1875 bis 1880 aber auch mit den Grundwasserschwankungen verglichen. Aus seiner Tafel ist es ersichtlich, daß, wenn in Budapest ein Einfluß des Donau- resp. Grundwasserstandes und des Regens auf den Typhus überhaupt besteht, er dem in München beobachteten gerade entgegengesetzt ist, weil der Typhus im großen Ganzen häufiger mit hohen Donauständen und Regenmengen als mit Tiefwasser und trockener Witterung koincidiert.

Diese Erfahrung wird auch durch die in Budapest angestellten neueren Beobachtungen bestätigt, bei welchen ich bis 1892 den zeitlichen Verlauf des Typhus von Monat zu Monat und von Jahr zu Jahr mit den Regenmengen sowie mit den Schwankungen des Grundwassers im Brunnen des Krankenhauses zu St. Rochus verglichen habe*). Es ergab sich, daß die 1877er Epidemie von April bis Juni mit tiefem Jahresstand des Grundwassers zusammenfiel, aber mit dem Steigen des Grundwassers anfing und mit dessen Sinken aufhörte. Die Winterepidemie 1878/79 fiel auf steigendes und am höchsten stehendes Grundwasser. In 1880 war bei hohem Wasserstand der Typhus wohl gering, aber in 1881 fiel auf einen noch höheren Wasserstand eine starke Epidemie, welche auch mit dem Wasserspiegel parallel anstieg. In 1883/84 steht das Grundwasser höher, der Typhus fällt ab, in 1885 das Grundwasser sehr tief, der Typhus noch tiefer. Im Herbst 1888 bei hohem Grundwasserstand Zunahme, im Juli bis September 1889 Ausbruch des Typhus, bei sehr hohem Stand und langsamem Steigen des Grundwassers; in 1890 tieferes Grundwasser, sehr wenig Typhus; in 1891/92 wieder sehr hohes Grundwasser, mäßig ansteigender Typhus. Ganz Aehnliches ist aus der beigegebenen Tafel II (S. 201) zu ersehen, auf welcher die Jahresziffern von Typhussterblichkeit, Regenmenge, sowie der Jahresdurchschnitt der Grundwasserschwankungen und endlich die Population von Budapest (von 1863 bis 1873 bloß die Bevölkerung und auch die Typhusfälle in den Stadtteilen links der Donau), analog zu Pettenkofer's Tabelle (S. 200) verzeichnet sind. Aus diesen Daten und aus der Tabelle ist ein konsequenter Zusammenhang zwischen Typhus und Grundwasser resp. Regenmenge nicht, und höchstens so viel zu entnehmen, daß der Typhus eher mit dem steigenden und hoch stehenden Grundwasser und mit regnerischer Witterung als mit dem sinkenden und tief stehenden Grundwasser resp. mit einem trockenem Jahr oder einer trockenen Jahreszeit zusammenfiel.

Doch liegen auch mehrere Angaben vor, nach denen die Vergleichung von Typhus und Grundwasserschwankungen zu einem ähnlichen negativen Ergebnis führte. So haben Socin, dann Biermer[120] in Basel schon vor längerer Zeit diesen Zusammenhang vermißt, was durch neuere Angaben aus dieser Stadt bestätigt wird[121]. Nach Krügkula ist der Typhus in Wien im Jahre 1877 zu einer Zeit ausgebrochen, als das Grundwasser nach vorhergegangenem tiefen Stand sich zu erheben begann[122] **). Zu ähnlichen Resultaten kam auf Grund sehr eingehender Studien Flinzer in Chemnitz[123]; Fränkel und Piefke haben sogar den früher in Berlin bestandenen Zusammenhang von Typhus und Grundwasser während der 1889er Epidemie vermißt[124]. Auch hinsichtlich des Einflusses der Regenfälle lauten die Erfahrungen widersprechend; so hebt z. B. Pagliani hervor, daß die starke Epidemie zu Paris im Jahre 1882/83 mit außerordentlichen Regenfällen zusammenfiel[125].

*) Dieser Brunnen liegt inmitten des von Cholera und Typhus am meisten heimgesuchten Gebietes und eignet sich zum Vergleich der Grundwasserstände auch wegen seiner entfernten Lage von der Donau, deren Stauwirkung hier wenig fühlbar ist. Die Schwankungen des Brunnenspiegels verlaufen auch — wie aus Tafel II (S. 201) ersichtlich — mit den Regenmengen — ebenso wie in München — parallel.

**) Diese Epidemie wurde übrigens von anderen (Drasche) dem Trinkwasser zugeschrieben.

Aus alledem muß aber offenbar gefolgert werden, daß der Buhl-Pettenkofer'sche Einfluß von Grundwasserschwankungen auf den Typhus — als ein maßgebendes ätiologisches Moment — nicht genügend bewiesen ist. Doch wenn er auch als bewiesen angenommen würde, so könnte doch niemand erklären, wie das Grundwasser diesen Einfluß ausübt.

Am natürlichsten mag noch die Vorstellung sein, daß die Typhuserreger mit den Darmentleerungen in Aborte und Siele gelangen, von dort in den Boden aussickern, hier, wenn Porosität, Feuchtigkeit und Wärme (Herbst) günstig sind, und der nötige Luftzutritt möglich ist (bei sinkendem Grundwasser, mangelndem Regen), sich vermehren, in das Grundwasser oder mit der Grundluft ins Freie und in die Wohnungen gelangen. Die zähe Lebensfähigkeit der Typhusbacillen läßt einen solchen Vorgang in der Erde als nicht unmöglich erscheinen. Doch werden alle ähnlichen Züchtungstheorien durch die oben erwähnte Erfahrung zu Schanden und überflüssig gemacht, daß der Typhus häufig genug zu einer Zeit seine epidemische Entwickelung erlangt, wenn der Boden gerade am kältesten und inaktivsten ist. Ferner ist eine Wanderung der Typhusbacillen in den Bodenschichten im Innern der Erde mehr als unwahrscheinlich, wenn man bedenkt, wie stark das Binde- und Filtriervermögen des Bodens ist, wie langsam die Filtration vor sich geht, und daß Bakterien unterhalb 1—2 m Tiefe überhaupt nur mehr vereinzelt vorkommen und sich hier noch weniger zu vermehren vermögen.

Ein spezifischer Lebensprozeß und ein Wandern der Typhusbacillen im Innern des Bodens, im Bereiche der Grundwasserschwankungen läßt sich also nicht einmal recht vorstellen.

Manche Autoren wollten die Frage im Zusammenhange mit dem Grundwasser durch die Annahme erklären, daß beim Sinken des Grundwassers in den Brunnen das Wasser weniger und sein Gehalt an organischen Substanzen konzentrierter wird, beziehentlich daß die Unreinlichkeiten aus Abtrittgruben und Sielen in größerer Menge aussickern als bei hohem Grundwasserstand (Buchanan[126], Baker[127], Cornil[128]). Solche Ansichten habe ich schon oben (S. 134) als unannehmbar bezeichnet. — Fodor hat für Budapest nachgewiesen, daß durch Hochwasser in der Donau die Grundwässer in ihrem Abfluß nach der Donau aufgehalten werden, also beim Steigen des Donaustandes sich aufstauen und im verunreinigten Boden um die Brunnen herum stagnieren, während bei niederem Donaustand das Grundwasser nach den Fluß rascher abfließt und daher in der Umgebung der Brunnen weniger Verunreinigung aufnehmen wird. Auf Grund dieser Thatsache hat Fodor die Frage aufgeworfen, ob nicht das häufigere Auftreten von Typhusepidemien in Budapest beim Steigen des Grundwassers hierin seine Ursache hat. Mit dieser Auffassung würde auch die andere Thatsache übereinstimmen, daß im Gegensatz zu Budapest in München und an anderen Orten das Grundwasser eher beim Sinken langsamer fließen und stagnieren, also das Brunnenwasser mehr wird verunreinigen können. Wie weit diese Hypothese begründet oder unrichtig ist, das vermögen wir, mangels genügender positiver Untersuchungen, nicht zu entscheiden, und gehört eine eingehendere Erörterung derselben in das Kapitel Trinkwasser (siehe Bd. I dieses Handbuchs); doch will ich so viel bemerken, daß z. B. in München, Danzig etc. auch nach Einrichtung des Wasserwerkes (also ohne Brunnenwasser) Typhusepidemien vorkamen

(Pettenkofer)[129], und daß in Budapest während der Typhusepidemien in den Jahren 1873, 1874, 1877 etc. auch die Bewohner von mit Leitungswasser versehenen Häusern von der Krankheit ergriffen wurden, obschon in viel geringerem Verhältnis als die auf Brunnenwasser angewiesene Bevölkerung (Fodor).

Nach alledem kann ein Kausalnexus zwischen Grundwasserschwankungen und Typhus nicht bewiesen und noch weniger erklärt werden.

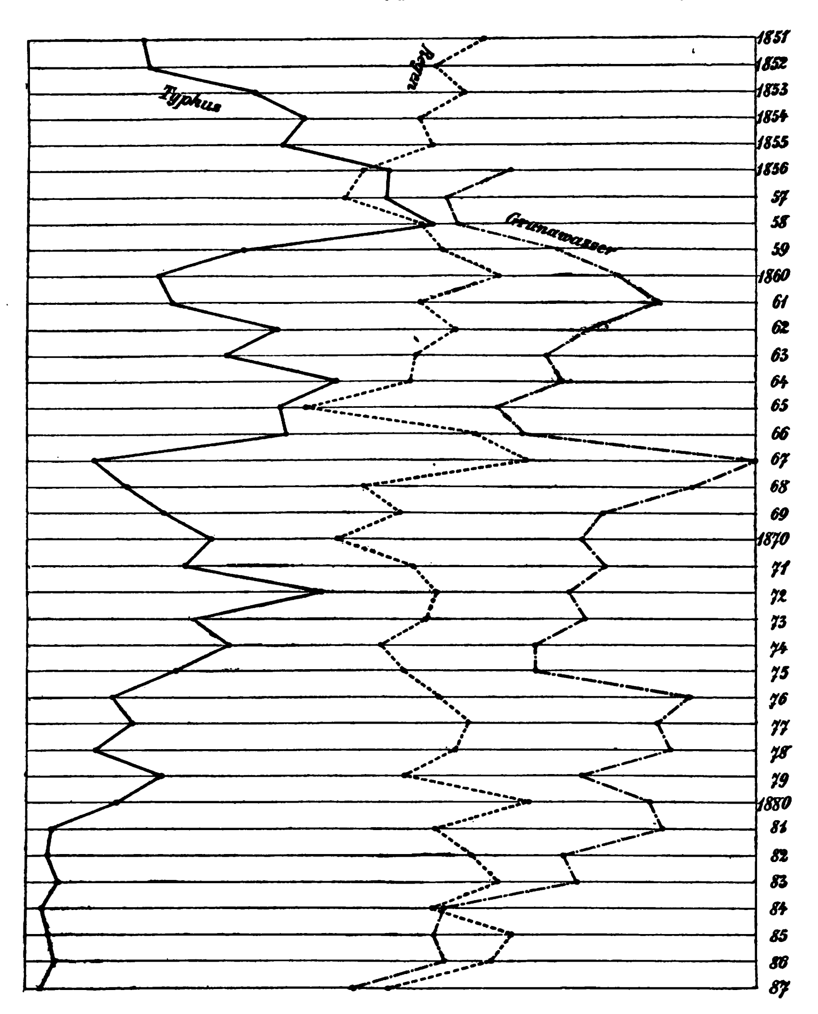
Wenn nun aber zwischen Typhusepidemien und Grundwasserschwankung resp. Regenverhältnissen ein engeres, ein gesetzmäßiges Zusammengehen nicht nachweisbar ist, so kann ebensowenig ein engerer Zusammenhang zwischen Typhus und jenen Prozessen angenommen werden, welche mit den Grundwasserschwankungen und den Regenverhältnissen in Verbindung stehen und von welchen die Grundwasserschwankungen nach Pettenkofer nur den Anzeiger abgeben sollten, wie die Befeuchtung und die Austrocknung der über dem Grundwasser gelagerten Bodenschichten, ferner die infolge jener wechselnden Feuchtigkeit auftretenden Zersetzungsprozesse im Innern des Bodens.

Die Aufrechthaltung eines kausalen und notwendigen Zusammenhanges zwischen Typhusepidemie und Grundwasserschwankung resp. Regenverhältnissen wird aber um so schwieriger, wenn man auch das übrige epidemiologische Verhalten des Typhus in Betracht zieht. Wie will man z. B. erklären, daß der Typhus in zwei nebeneinander, auf demselben Boden und über demselben Grundwasser gelegenen Häusern sich so verschieden verhält, wie das durch die Budapester Untersuchungen hinreichend illustriert wird? Wie soll man es verstehen, daß der Typhus an manchen Orten, besonders wo eine Anhäufung menschlicher und tierischer Abfallstoffe stattfindet, z. B. in Arbeiterkolonien, auf Lagerplätzen, auf Schiffen etc. sich so rasch entwickelt und ausbreitet, daß es — mit Rücksicht auf das hohe Bindevermögen der Bodenoberfläche — zu einem Eindringen von Typhuskeimen in den Boden bis zum Wirkungsbereich des Grundwassers einfach an Zeit mangelt?

Insbesondere spricht aber die in neuerer Zeit konstatierte wunderbare Abnahme des Typhus in den meisten Großstädten gegen eine tiefere Bedeutung der Bodenverhältnisse. Diese Beobachtung wird ganz allgemein gemacht. In München stand der Typhus in den 50er Jahren noch auf 200—300 pro 100000, seit 1881 ist er rapid auf 10—20 heruntergegangen, und dasselbe gilt für Danzig seit 1875, für Berlin, wo der Typhus auf 18—19 zurückging (Pettenkofer, Soyka), für Breslau (Schweidler)[130], für Wien, Budapest u. s. f. Pest hatte in den Jahren 1865—70 eine mittlere Typhusmortalität von jährlich 443, bei durchschnittlich 185000 Einwohnern, in den Jahren 1888—92 aber bloß jährlich 196 bei durchschnittlich 500000 Einwohnern (239, resp. 39 pro 100000).

Die Ursache dieser raschen und allgemeinen Abnahme kann mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in mehreren Momenten gesucht werden, unter welchen aber die im Boden und den Bodenverhältnissen eingetretenen Veränderungen mit dem bescheidensten Platz müssen vorlieb nehmen. So wird zunächst auf die bessere Wasserversorgung und auf die Kanalisation hingewiesen. Der Einfluß der ersteren ist durch zahlreiche Beispiele mit genügender Entschiedenheit bewiesen, und dasselbe kann von der Kanalisation gesagt werden. Baron[131] hat den Typhus in zahlreichen kanalisierten und nicht kanalisierten

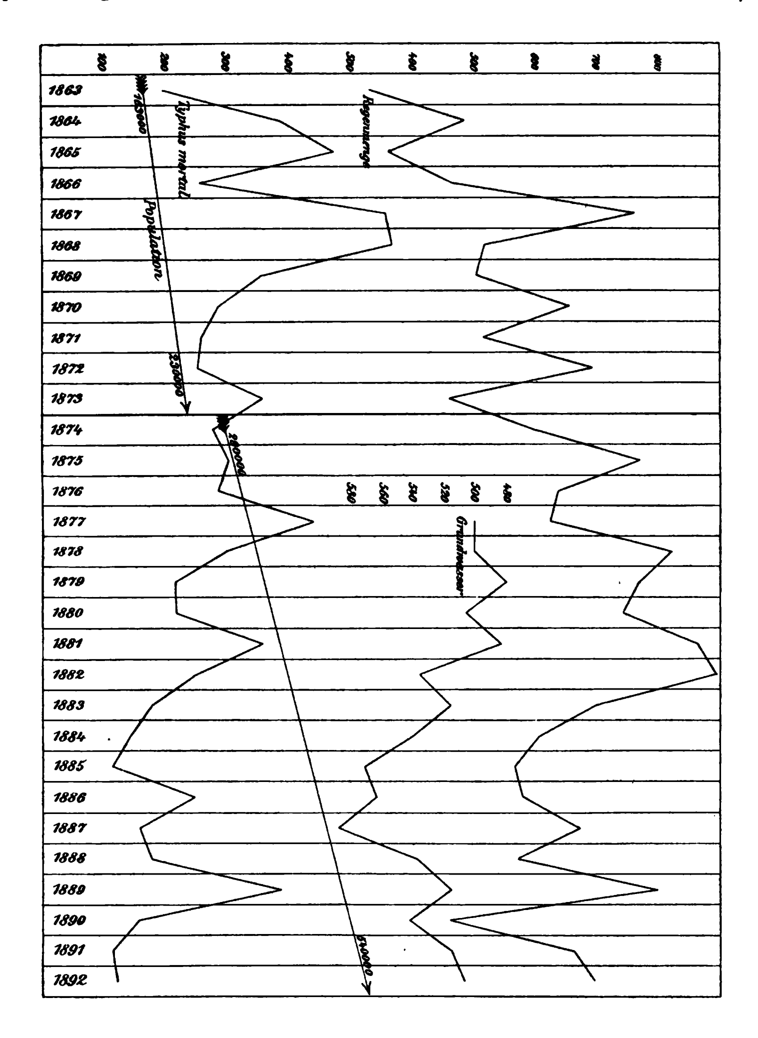
Städten verglichen, und in ersteren günstigere Typhusverhältnisse gefunden. Uebrigens hatte Buchanan[132] schon vor längerer Zeit für eine Anzahl englischer Städte eine Abnahme des Typhus nach der Kanalisation nachgewiesen, welcher auch Virchow zustimmte[133]. Pettenkofer und Soyka schrieben ebenfalls die Besserung der Typhusverhältnisse hauptsächlich der Kanalisation zu. Nach Soyka würden Siele die Abnahme des Typhus dadurch bewirken, daß sie das



Tafel I. Typhus-, Regen- und Grundwasserverhältnisse in München. (Nach Pettenkofer.)

Eindringen der Typhuserreger in den Boden verhindern[134], während nach Pettenkofer die Kanalisation eine Reinigung des Bodens zur Folge hat, bei welcher die Grundwasserschwankungen aufhören von Einfluß zu sein, weshalb der Boden auch keinen Typhus mehr erzeugt[135]. Doch kann ich mich keiner von diesen Ansichten vollinhaltlich anschließen, da der Typhus z. B. auch in Wien und Budapest u. a. O., wo die

Kanalisation nur unbeträchtlich oder gar nicht besser wurde, bedeutend abgenommen hat, und weil die Abnahme der Bodenverunreinigung nach der Kanalisation nur allmählich und langsam stattfinden kann, wogegen der Typhus überhaupt sehr rasch zurückgegangen ist. Eine so rasche Veränderung konnte die Verunreinigung nur auf der Oberfläche des Bodens jener Städte und ihrer Straßen, Höfe und Wohnungen, durch die jetzt allgemein zunehmende öffentliche Reinlichkeit erleiden, und



Tafel II. Typhus-, Regen- und Grundwasserverhältnisse in Budapest.

viel weniger in den tieferen, in den Bereich der Grundwasserschwankungen fallenden Bodenschichten. Eine rasche Veränderung konnte ferner das Trinkwasser durch die Wasserleitungen, die Luft der Wohnungen durch die Kanalisation (Closete) erreichen, welche die Exkremente Typhöser und Anderer rasch entfernt, und die Verunreinigung der Luft durch faulige Ausdünstungen der Aborte verhütet.

Es liegt also die Annahme am nächsten, daß die Abnahme der Typhusfälle vielmehr einer Verminderung dieses oberflächlichen Schmutzes und der Fäulnis, als einer Veränderung in den Verhältnissen der tieferen Bodenschichten zugeschrieben werden muß.

Als gute Illustration des Einflusses, welchen der oberflächliche Schmutz der Wohnungen auf die Verbreitung des Typhus ausübt, kann die Angabe Fodor's dienen, daß zu Budapest in den Jahren 1863 bis 1877 auf 10000 Bewohner an Typhus verstarben (von 1300 untersuchten Häusern):

in ganz reinen Häusern . .	162
in sehr schmutzigen Häusern	515

Daß in diesen Häusern die größeren Verheerungen des Typhus durch den oberflächlichen Schmutz verursacht und nicht von Boden, Grundwasser oder Bodenfeuchtigkeit beeinflußt waren, muß daraus gefolgert werden, daß die untersuchten Häuser wohl auf dem ganzen Stadtgebiet zerstreut aber so ausgewählt wurden, daß typhusfreie und Typhushäuser stets neben einander lagen, daher offenbar nicht in ihren Bodenverhältnissen, sondern hauptsächlich durch den Grad der oberflächlichen Verunreinigung von einander verschieden waren.

Nach Obigem kann der Einfluß des Bodens und der Unreinigkeit auf den Typhus ganz gut in gleichem Sinne aufgefaßt werden, wie wir es bei der Cholera klargestellt haben. Man darf dieser Deutung zustimmen, weil auch die bakteriologischen Thatsachen darauf hinweisen, daß auch die Typhuserreger imstande sind, sich außerhalb des menschlichen Körpers zu erhalten und zu vermehren, und zwar sowohl auf dem Boden, als auch auf anderen feuchten und warmen Gegenständen, wie in Wohnungen, Höfen, Zimmern, ferner in Wasser, Nahrungsmitteln u. s. f. Ein feuchter, verunreinigter Boden und schmutzige, feuchte Wohnungen werden also Typhusepidemien dadurch fördern können, daß sie den Typhuserregern Nährböden darbieten, während dies bei Reinlichkeit, Trockenheit des Bodens und der Wohnungen weniger der Fall ist. Bei unreinlichen Wohnungsverhältnissen können ferner Typhuskeime in den Boden gelangen, hier sich lange erhalten, durch Zerstäubung eventuell in den menschlichen Körper oder in Brunnen gelangen und auf diesen Wegen zu Infektionen führen. Endlich kann der verunreinigte Boden mit seinen Zersetzungsprodukten die Luft und eventuell das Wasser verunreinigen und hierdurch eine Disposition der auf ihm wohnenden Menschen verursachen. (Vergl. das bei der Cholera in ähnlichem Sinne ausführlicher Gesagte auf S. 186—7.)

Wir werden also dem Boden, seiner Feuchtigkeit und Verunreinigung, den Strömungen und Schwankungen des Grundwassers wohl einen Anteil an der Förderung des Typhus zuschreiben, aber den Einfluß der genannten Faktoren nicht für einen spezifischen und unentbehrlichen halten. Denn andere Einflüsse (Wasserleitung, äußerliche, oberflächliche Reinlichkeit in Wohnungen, Abtritten, Sielen, auf dem Boden) scheinen bei der Verbreitung und Beschränkung des Typhus eine noch wichtigere Rolle zu spielen, als der Zustand im Inneren des Bodens.

Diese Erfahrungen berechtigen uns aber zu der Hoffnung, daß es uns gelingen wird, den Typhus in unseren Städten zu bekämpfen, wenn

wir die als wirksam erprobten Mittel anwenden, nämlich: infektionsfreies Wasser, rasche und vollständige Entfernung der Fäkalien und Hebung der öffentlichen und privaten Reinlichkeit.

Trotzdem dürfen wir nicht übermütig werden und uns nicht vorstellen, daß wir die Typhusepidemien ein für allemal aus unseren Städten verbannt haben, weil wir nicht berechtigt sind, bestimmt zu behaupten, daß der Typhus thatsächlich durch die bisher angewendeten Reinigungswerke bekämpft wurde, und weil noch immer gefragt werden kann, ob nicht der Typhus auch ohne diese öffentlichen Werke zurückgegangen wäre, und ob er nicht trotz derselben später einmal, wenn Zeit und Umstände günstig sind, wieder überhand nehmen wird.

Das ist wohl nicht wahrscheinlich, doch darf es auch nicht für unmöglich gehaten werden. Zu Vorsicht mahnen uns einerseits die positiven Ergebnisse der Pettenkofer-Soyka'schen Untersuchungen (s. S. 195), deren Stichhaltigkeit denn doch nicht vollständig widerlegt werden kann, ferner andere Beobachtungen, welche darauf hinweisen, daß die Typhusepidemien offenbar auch von allgemeineren Ursachen abhängig sind, als lokale Verunreinigung, Trinkwasser u. A. So war der Typhus in den Jahren 1872—74 in ganz Europa verbreitet und zeigte auch in 1889 eine allgemeine Exacerbation. Es giebt ja in der Epidemiologie auch genug Beispiele dafür, daß epidemische Krankheiten zuweilen Jahre und sogar Jahrzehnte hindurch an Kraft abnehmen, dann aber um so heftiger auflodern.

Woran es liegt, daß gewisse epidemische Krankheiten Jahre lang mild verlaufen und dann unerwartet einen gefährlichen Charakter annehmen und sich rasch verbreiten (wie z. B. Cholera, Influenza, Pocken und auch Syphilis), sind wir derzeit nicht zu erklären imstande.

6. Durchfall (Sommerdiarrhöe, Enterie, Cholera infantum).

Fodor[136] hat die Mortalität an Durchfall in Budapest eingehend studiert und die Vermutung ausgesprochen, daß die epidemische Verbreitung der Enterie unter dem Einflusse der in der oberflächlichen Bodenschicht verlaufenden Zersetzungsprozesse stehe. In der That kann auch für diese Krankheit, welche unter den Kindern so viele Opfer fordert, sowohl eine örtliche, als eine zeitliche Disposition konstatiert werden. Hinsichtlich der ersteren brauche ich mich bloß auf die allgemeine Erfahrung zu berufen, daß diese Seuche in Städten viel ärger grassiert, als in Dörfern, und mit der Größe der Stadt auch an Bösartigkeit zunimmt.

So sind nach Würzburg[137] in Preußen im Jahre 1878 an Diarrhöe und Brechdurchfall pro 10000 Neugeborene verstorben:

in Städten mit mehr als 100000 Einwohnern	809
„ „ „ 20—100000 Einwohnern	374
„ „ „ weniger als 20000 Einwohnern	152
„ Landgemeinden	58

Die Seuche nimmt also mit der Ueberfüllung und dem hiermit einhergehenden Schmutze der Städte parallel zu.

Noch interessanter sind die Ergebnisse und noch größer die lokalen Unterschiede, wenn man die Diarrhöe in verschiedenen Ländern und

Städten vergleicht. Doch will ich hiervon absehen, weil die Diarrhöe-Statistik infolge der verschiedenen Nomenklaturen nicht recht vergleichbar ist, und an den Resultaten manches ausgesetzt werden könnte. Immerhin aber kann ich konstatieren, daß von vielen Seiten auf die verschieden hohe Sterblichkeit an Durchfall nach Städten und Stadtteilen, sowie auf die Abhängigkeit derselben von Schmutz und Unsauberkeit hingewiesen wurde, so in Budapest und an anderen Orten [138].

Auch das zeitliche Verhalten der Diarrhöe ist auffallend; die Akme wird gewöhnlich im Juli und August, zuweilen im September erreicht, während das Minimum auf die Winter- und Frühjahrsmonate fällt. So entfallen zu Budapest in den Jahren 1877—92 (16 Jahre) von allen Diarrhöe-Todesfällen [139] auf den

Januar	1155	Juli	4177
Februar	983	August	4220
März	1143	September	3033
April	1116	Oktober	2017
Mai	1398	November	1128
Juni	2323	Dezember*)	1060

Hieraus geht hervor, daß die Diarrhöe offenbar durch die äußere Temperatur reguliert wird. Doch kann die atmosphärische Temperatur nicht der einzige und entscheidende Faktor sein, da im viel wärmeren Mai und Juni weniger Todesfälle verzeichnet werden, als im kühleren August und September. Auch diese Thatsache ist von vielen Seiten festgestellt worden.

Manche wollten diese Erscheinung damit erklären, daß die Zunahme der Erkrankungen und Todesfälle durch das Klima der sich allmählich durchwärmenden Häuser, durch die Hitze und mangelhafte Ventilation verursacht wird; dies meint z. B. Meynert [140]. Andere haben wieder den in den Wohnungen bei heißem Wetter in Zersetzung übergehenden Nahrungsmitteln eine größere Bedeutung zugesprochen (Sloane [141], Hill [142]). Obgleich ich die Beteiligung der angeführten Faktoren ungeschmälert anerkennen will, meine ich doch auf Grund des von der Diarrhöe den meteorologischen Verhältnissen gegenüber bekundeten Verhaltens behaupten zu dürfen, daß diese Krankheit auch unter dem Einfluß von meteorologischen Verhältnissen und hierdurch im Zusammenhang mit dem Boden steht.

Vor allem kann ich aus den Budapester Beobachtungen schließen, daß die Parallelität der Enterie mit der atmosphärischen Wärme nicht nur insofern unvollkommen ist, als die Krankheit erst nach länger anhaltender Wärme sich zu erheben beginnt und auch nach Eintritt der allgemeinen Wärmeabnahme noch anhält, sondern auch darum nicht, weil auch andere Widersprüche bestehen.

So war in Budapest [143] im Jahre 1863 trotz der großen Sommerhitze die Diarrhöe doch milde verblieben, dagegen in 1864 bei viel kühlerem Wetter sehr heftig. Ferner hat in 1863 die Sommerhitze im August kulminiert, die Diarrhöe aber bereits im Juli und August abgenommen; dagegen fiel in 1864 die Akme der Temperatur schon auf den Juni, während die Diarrhöe in diesem und auch noch im folgenden Monat sich milde verhielt, aber im August um so heftiger wütete. Aehnliche den Temperatureinflüssen widersprechende Erfahrungen wieder-

*) Der Wert für ein Jahr interpoliert.

holen sich von 1863—1880 noch sehr oft, so z. B. in 1867, 1868, 1869, 1875 u. s. f.[144].

Ferner kann ich auch eine auffallende Abhängigkeit der Diarrhöe von den Regenfällen konstatieren, auf welche schon vor längerer Zeit Baginsky[145], Johnston[146], Langstaff[147] u. a. hingewiesen und betont haben, daß Regenfälle eine Abnahme der Enterie im Gefolge führen. Aehnliches beweisen auch die Budapester Beobachtungen, aus welchen hervorgeht, daß inmitten der heftigsten Epidemie nach einem ausgiebigen Regenfall in 8—10 Tagen eine Verminderung der Opfer der Epidemie eintritt. Aber diese wohlthätige Wirkung des Regens ist nicht anhaltend, weil die Mortalität hinterher nur um so höher ansteigt, ausgenommen wenn die Witterung überhaupt kühler wird, wie z. B. gegen Herbst.

Es erleidet diesem gegenüber keinen Zweifel, daß die Hitze in den Wohnungen und die Verderbnis der Nahrungsmittel kaum zu erklären vermag, warum die Diarrhöe zuweilen schon im Juni und Juli kulminiert, obschon die äußere Temperatur und demgemäß auch die Temperatur in den Wohnungen ihr Maximum erst im August erreicht, zu welcher Zeit die Diarrhöe bereits in Abnahme begriffen ist, und warum die Diarrhöesterblichkeit bei Regenwetter abnimmt und hinterher wieder ansteigt.

Am natürlichsten können also diese Sterblichkeitsverhältnisse dadurch erklärt werden, daß die Sommerhitze, bei entsprechender Wärme und Feuchtigkeit, auch außerhalb der Wohnungen, auf und im Boden Zersetzungsorganismen ausbrütet, welche dann in den menschlichen Körper und in die Nahrungsmittel gelangen, und auf diese Weise die Diarrhöe befördern.

Der Kausalnexus zwischen der Diarrhöe und den Zersetzungsprozessen in der oberflächlichen Bodenschicht wird auch durch die Erfahrung nachdrücklich unterstützt, daß in Budapest von 1877—1880 (in 4 Jahren) die Diarrhöesterblichkeit sowohl in den Hauptzügen als auch in vielen Einzelheiten mit der Kohlensäuremenge in der oberflächlichen (1 m) Bodenschicht parallele Schwankungen ausführte[148].

Endlich geht der Einfluß der Bodenverunreinigung und Zersetzung auf den Darmkatarrh aus den überaus günstigen Folgen der sanitären Maßnahmen zur Evidenz hervor, wenn für gutes Trinkwasser und gesunde Wohnungen gesorgt und insbesondere der den Boden oberflächlich bedeckende und hier einsickernde Schmutz entfernt wurde. Diese Erfahrung hat schon Buchanan in seiner wiederholt citierten Arbeit[149] hinsichtlich der 24 kanalisierten englischen Städte nach Einführung der Kanalisation gemacht. Dasselbe wurde auch in den kontinentalen Großstädten, z. B. in Budapest, beobachtet, wo die Diarrhöe von 1877—1892 eine beträchtliche relative Abnahme zeigt. Während nämlich die Diarrhöemortalität für den Zeitraum 1877—1882 noch 422 auf 100000 Einwohner betrug, berechnet sie sich für 1888—1892 bloß auf 332, sodaß die Abnahme 27 Proz. ausmacht, was hauptsächlich der Besserung in der allgemeinen und Bodenreinlichkeit zugeschrieben werden muß, da die Wasserversorgung seit 1877—82 (wenn überhaupt) sehr wenig besser geworden ist, die Verbesserung der Kanalisation aber erst auf dem Papiere steht.

Neben der oberflächlichen Bodenverunreinigung können wir der Unreinigkeit in den tieferen Bodenschichten weniger Bedeutung beimessen, da schon die Jahreszeit, auf welche die Epidemien

fallen (Juli, August), gegen eine Beteiligung dieser tieferen Schichten spricht. Aus dem nämlichen Grund kann auch das Grundwasser in den meisten Fällen nur von untergeordneter Bedeutung sein. Thatsächlich vermochte ich in Budapest für die Jahre 1877—1892 keinerlei Zusammenhang zwischen Stand und Schwankungen des Grundwassers und der epidemischen Diarrhöe zu konstatieren.

Die epidemische Diarrhöe ist also offenbar eine Krankheit, bei deren Auftreten und Verbreitung die oberflächliche Verunreinigung des Bodens — wahrscheinlich durch Produktion der Infektionserreger — eine wesentliche Rolle spielt.

7. Diphtherie.

Mehrere Autoren zählen auch die Diphtherie zu den durch Bodenverhältnisse beeinflußten Seuchen. Diese Meinung gewinnt durch den Umstand eine wesentliche Stütze, daß die örtliche und zeitliche Disposition in zahlreichen Fällen auch bei der Diphtherie augenfällig ist.

Monti[150] spricht sich entschieden dahin aus, daß die oft überaus rasche und weite Verbreitung der Krankheit mit der von Mensch zu Mensch erfolgenden Ansteckung allein nicht erklärt werden kann, daß also auch endemische und epidemische (zeitliche) Faktoren beteiligt sein müssen. Nach den Angaben von Rubner[151] ist die Diphtheriemortalität nach Städten und Kreisen sehr verschieden; es verstarben nämlich im Mittel aus 8 Jahren auf 100000 lebende Einwohner: in Danzig 234, in Königsberg 167, in Cassel 67 und in Breslau bloß 63; ferner im Kreise Heydekrug sogar 724, im Kreise Berlin bloß 146 und im Kreise Montjoie gar nur 28! Der Unterschied nach Oertlichkeiten ist also sehr bedeutend. Nach Rahts[152] verstarben pro 100000 Einwohner im Regierungsbezirk Hildesheim im Jahre 1888 nicht weniger als 93, im Jahre 1889 gar 109, dagegen im Regierungsbezirk Trier bloß 6 und 5, und im Regierungsbezirk Aachen bloß 4 und 10 u. s. f.

Kayser[153] hebt besonders hervor, daß in Berlin die auf Lehmboden gelegenen Häuser mehr Diphtherie haben, als die auf anderem Boden stehenden. Die Diphtheriemortalität betrug nämlich auf Lehmboden 3,38, auf Dünensand 2,48, auf Thalsand 2,24, auf Flußsand 2,02 und auf Moorerde 1,92 p. M.

Denarowsky[154] berichtet, daß von zwei bloß durch einen Bach getrennten Ortschaften in der Bukovina die eine andauernd und stark von der Diphtherie verseucht war, die andere aber gänzlich immun blieb.

Besonders häufig wird behauptet, daß die Diphtherie auf tiefgelegenem, feuchtem Boden häufig auftritt, so von Johnstone, Orillard, Grau, Francotte[155].

Auch Vogel[156] konstatiert die Vorliebe der Diphtherie für gewisse Oertlichkeiten und hebt hervor, daß, während diese Krankheit in Hagenau und Worms sehr mild und selten auftrat, die auf eine Stunde Entfernung gelegenen Dörfer von der Seuche häufig und schwer zu leiden hatten. Derselbe Autor erwähnt besonders noch das häufige Auftreten der Diphtherie in neugebauten, also feuchten Häusern, was auch Heubner in Leipzig beobachtet hat[157].

Doch können wir auch die gegenteiligen Angaben mehrerer Forscher nicht stillschweigend übergehen, die keinerlei Abhängigkeit von lokalen Verhältnissen konstatieren konnten. Nach Steinmetz[158] war die

Diphtherie in Elsaß-Lothringen auf der Ebene im selben Maße vorherrschend wie auf Hochplateaus und im Gebirge. Kalischer[159] fand die Sterblichkeit an Croup und Diphtherie in Preußen in den Jahren 1875—89 unregelmäßig verteilt, sodaß im Gebirge und auf Ebenen gleichmäßig Bezirke mit viel und mit wenig Diphtherie vorkommen. Der günstigste Kreis hat zwar Moorgrund, doch auch der ungünstigste. Den großen Unterschied in der Diphtheriemortalität der einzelnen Kreise hat aber auch dieser Forscher konstatiert; so sind z. B. von 1875—1889 auf 100000 Einwohner an Diphtherie und Croup verstorben in der Landdrostei Aurich 67, im Regierungsbezirk Gumbinnen aber 409.

Eine Vergleichung dieser Angaben läßt auch schon aus dem bisherigen lückenhaften Material folgern, daß gewisse Oertlichkeiten, und namentlich diejenigen mit feuchtem Boden, wo also auch die Häuser und Wohnungen feucht sind, zu einem epidemischen Umsichgreifen der Diphtherie mehr disponiert sind als diejenigen, wo die Verhältnisse entgegengesetzt liegen. Dies würde beweisen, daß der Infektionsstoff der Diphtherie durch außerhalb des menschlichen Körpers bestehende Verhältnisse beeinflußt wird, und ist es am natürlichsten vorauszusetzen, daß die Feuchtigkeit der Lokalität die Erhaltung der Infektionserreger und ihrer Virulenz begünstigt, doch ist nicht ausgeschlossen, daß dieselben auf feuchtem Boden auch eine Vermehrung erleiden. Das erstere hat bei der bekannten ziemlich großen Widerstandskraft der Diphtheriebacillen auch die experimentelle Wahrscheinlichkeit für sich, was von der letzteren Hypothese weniger behauptet werden kann, weil die Diphtheriebacillen anscheinend mit Bezug auf den Nährboden sehr empfindlich und wählerisch sind.

Daß der Infektionsstoff der Diphtherie auf feuchtem Boden, Mauern und anderen Gegenständen konserviert werden kann, dafür spricht unter vielem anderen auch die allgemeine Erfahrung, daß es nur sehr schwer gelingt, die Diphtherie durch noch so sorgfältige Desinfektion der Krankenzimmer, Wäsche, Kleidungsstücke etc. aus einzelnen Häusern auszurotten, bis man nicht auch den Fußboden und andere feuchte Gegenstände entfernt hat. Dies wird besonders von Förster[160] und Baginsky[161] betont.

Auch das zeitliche Verhalten der Diphtherie läßt, namentlich nicht an den kleinen, sondern an den ausgebreiteten Epidemien, eine gewisse Gesetzmäßigkeit erkennen. Die meisten Angaben verlegen die Akme auf die Monate Dezember bis Februar (den Winter), das minimale Vorherrschen aber auf den Herbst. Doch findet häufig eine Verschiebung des Anfanges auf den November statt, wo dann die Epidemie sich bis in den März hineinzieht[162]. In Budapest entfielen während der 16 Jahre von 1877—1892 von den an Croup und Diphtherie registrierten 8441 Todesfällen die meisten auf den November = 952, dann auf den Dezember = 948 und Oktober = 811, dagegen auf den Juli 504, den Juni 541, den August 604.

Das Herrschen der Diphtherie in der kalten Jahreszeit läßt es als noch unwahrscheinlicher erscheinen, daß die Infektionserreger der Diphtherie außerhalb des menschlichen Körpers eine Vermehrung erfahren, und die Krankheit auf diese Weise hervorrufen würden, wie wir das bei der Cholera und Diarrhöe annehmen mußten; es dürfte vielmehr außerhalb des menschlichen Körpers bloß eine Konservierung des

Infektionsstoffes durch die Feuchtigkeit stattfinden, wie wir soeben hervorgehoben haben.

Demnach wird es nur natürlich erscheinen, wenn ein engerer Zusammenhang zwischen Diphtherie und den zeitlichen Verhältnissen der Witterung und des Bodens nicht gefunden werden kann, obschon Viele einen solchen behaupteten. So hat M. A. Adams[163] in Maidstone in den Jahren 1885—89 einen gewissen Zusammenhang von Diphtherie und hohem Grundwasserstand gesehen, doch sind seine Beobachtungen auf ein zu geringes Material beschränkt (171 Todesfälle), um beweiskräftig sein zu können. In Budapest haben die von 1877 bis 1892 verzeichneten 8441 Croup- und Diphtherie-Todesfälle weder mit dem Grundwasserstand, noch mit den Regenfällen einen auch nur einigermaßen festeren Zusammenhang erkennen lassen. Die heftige Epidemie 1877/78 fiel auf einen hohen, aber im Sinken begriffenen Grundwasserstand, die von 1886/87 auf einen tiefen, aber im Steigen begriffenen. Der höchste Grundwasserstand wurde während dieses Zeitraumes in 1879/80 beobachtet, als die Diphtherie sich fortwährend in engen Grenzen verhielt, wogegen in den Jahren 1889, 1891 und 1892 während gleichfalls hoher Grundwasserstände die Diphtherie stark anhielt.

Nach alledem vermögen ein feuchter Boden, feuchte Häuser und Wohnungen die Verbreitung der Diphtherie offenbar zu fördern, aber nicht durch Vermittelung der im Boden verlaufenden Zersetzungsprozesse, sondern vielmehr durch die bakterien-konservierende Wirkung der feuchten Oberflächen.

8. Tuberkulose.

Von mehreren Seiten wurde angenommen, daß der Boden auch die Verbreitung der Tuberkulose beeinflußt, und daß insbesondere die Feuchtigkeit des Bodens und eine tiefe Lage die Verbreitung dieser Krankheit fördern würden.

Bowditch hat auf Grund der von amerikanischen Aerzten (in Massachusetts) angestellten Massenbeobachtungen schon vor längerer Zeit behauptet, daß ein feuchter Boden der Tuberkulose günstig ist. Buchanan[164] hat die Rolle des Bodens bei der Verbreitung der Tuberkulose wiederholt eingehend bearbeitet und konstatiert, daß diese Krankheit in den Städten, wo die Kanalisation eine Austrocknung des Bodens zur Folge hatte, bedeutend abnahm, und wo dies nicht der Fall war, auch die Tukerkulose nicht seltener wurde. So war in Salisbury, Ely, Rugby, Banbury etc. der Boden nach der Kanalisation bedeutend trockener geworden, und die Tuberkulose hatte um 49 bis 41 Proz. abgenommen, während in Alnwick, Ashby, Carlisle u. a., wo der Boden ein Austrocknen nicht erkennen ließ, die Tuberkulose noch um 10 bis 20 Proz. zugenommen hatte. Andererseits verglich dieser Forscher das Vorkommen der Tuberkulose in England mit den Bodenverhältnissen der einzelnen Bezirke und fand, daß je undurchlässiger und vermöge seiner tiefen Lage feuchter der Boden war, die Tuberkulose um so häufiger in der Bevölkerung auftrat. Es wohnten nämlich in den Bezirken, wo, wie z. B. in Cranbrook, East Grinstead u. a., die Tuberkulose unter den im Alter von 15 bis 55 Jahren stehenden Personen gering (unter 3,0 $^0/_{00}$) war, 80 bis 95 Proz. der Bevölkerung auf Sand, und bloß 5

bis 20 Proz. auf Lehmboden, wogegen in Bezirken mit hoher Tuberkulosemortalität (bis 4,62 $^0/_{00}$) die Mehrzahl der Bevölkerung auf Lehmboden wohnte, so z. B. in Pethworth 70 Proz. Aehnliche Belege lieferten Middleton für Salisbury, J. Stark auf Grund von schottischen statistischen Ausweisen u. a.[165].

Schlockow[166] hebt das seltene Vorkommen der Tuberkulose unter den Bergarbeitern in Oberschlesien hervor und schreibt dasselbe der Austrocknung des Bodens durch den Bergbau zu Gute. Auch Weber[167] fand in Amerika eine Parallelität zwischen Tuberkulose und Bodenfeuchtigkeit.

Daß eine erhöhte Lage mit Hinsicht auf die Tuberkulose günstig ist, wird von vielen behauptet (Boudin, Jourdanet, Guilbert, Lombard). Corval[168] fand in Baden, daß die Tuberkulose mit der Höhenlage parallel abnimmt, indem von 100 000 Einwohnern an Phthise verstorben waren:

in	330—1000′	Höhe	330
„	1000—1500′	„	270
„	1500—2000′	„	250
„	2000—2500′	„	270
„	2500—3000′	„	230
	über 3000′	„	210

Doch hat diesen Erfahrungen gegenüber bereits Virchow auf die geringe Verläßlichkeit der Tuberkulosedaten der englischen Statistik hingewiesen, da in der Nomenklatur der Todesursachen in den einzelnen Jahren große Schwankungen nachgewiesen werden konnten; andererseits ist konstatiert, daß die Tuberkulose in England nicht nur in den kanalisierten Städten, sondern auch anderwärts, namentlich auch in den Landbezirken und gar auch unter der Fabriksbevölkerung, kontinuierlich abgenommen hat (D. Sandberg)[169].

Dann haben wieder andere gerade in trockenen Oertlichkeiten mehr Tuberkulöse beobachtet, was auch durch den auffallenden Antagonismus zwischen Tuberkulose und Malaria bewiesen würde, indem nach der Trockenlegung des Bodens an Stelle der Malaria-Fieber die Tuberkulose an Ausbreitung gewinnt (de Brun)[170].

Hiernach mangelt es uns an hinreichenden Grundlagen zur definitiven Aufklärung der Frage, ob bei der Verbreitung der Tuberkulose auch örtliche, namentlich aber Bodenverhältnisse beteiligt sind. Es werden diesbezüglich durch weitere und genauere Beobachtungen noch exaktere Daten zu sammeln sein. Vorderhand könnte man höchstens so viel als wahrscheinlich acceptieren, daß ein feuchter Boden und feuchte Wohnungen — vielleicht durch Konservierung der Tuberkelbacillen — der Verbreitung dieser Krankheit förderlicher sind als ein trockener Boden.

Zusammenfassung.

Zahlreiche auf den vorstehenden Seiten verzeichnete Thatsachen weisen darauf hin, daß gewisse Infektionskrankheiten zeitlichen und örtlichen Einflüssen unterworfen sind, und auch mit gewissen örtlichen und zeitlichen Bodenverhältnissen in Zusammenhang stehen, doch läßt sich weder das Thatsächliche noch die Natur dieser Abhängigkeit positiv und direkt beweisen. So muß man

gestehen, daß eine direkte Abstammung dieser Krankheiten aus dem Boden, — daß eine direkte Beteiligung des Bodens an der Produktion des Infektionsstoffes bei keiner einzigen Krankheit bewiesen ist. Die Infektionserreger der Bodenkrankheit κατ' ἐξοχήν, der Malaria, sind uns außerhalb des menschlichen Körpers noch nicht bekannt, und können wir dieselben im Boden derzeit noch gar nicht einmal aufsuchen; bei anderen Infektionskrankheiten, dren Erreger zwar außerhalb des Körpers bekannt sind, hat man diese im Boden bisher nicht mit dem nötigen Eifer und mit der nötigen Umsicht gesucht, und infolgedessen ihre Reproduktion im Boden nicht nachgewiesen.

Wir folgern also einen Kausalnexus zwischen Boden und gewissen Krankheiten bloß auf indirektem Wege, aus gewissen Anzeichen, nämlich daraus, daß jene Krankheiten an gewisse Orte gebunden sind oder doch gegen diese eine gewisse Vorliebe erkennen lassen, ferner daraus, daß sie parallel mit gewissen zeitlichen Momenten, Veränderungen der Bodenzustände auftreten. Doch wird auch von diesen Anzeichen nur einer mit einer gewissen größeren Stabilität angetroffen, nämlich das Einhergehen der oberflächlichen Verunreinigung des Bodens mit dem beträchtlicheren Vorherrschen einiger Infektionskrankheiten, und die Abnahme, welche die letzteren an In- und Extensität mit dem Reinerwerden der Bodenoberfläche und des Bodens erleiden. Dies läßt sich am deutlichsten bei Cholera, Typhus und Diarrhöe nachweisen. Schon minder läßt sich ein Einfluß der Verunreinigung in den tieferen Bodenschichten auf die bewußten Krankheiten erkennen, obschon ein solcher zumindest in einem gewissen Grade — besonders im Wege einer Verunreinigung des Trinkwassers mit Bakterien, oder mit den durch die Zersetzungsvorgänge im Boden produzierten Ptomainen, aber viel weniger durch Vermittelung der Grundluft — nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich ist.

Aus obigen Ausführungen geht ferner hervor, daß neben der Verunreinigung zunächst die Feuchtigkeit des Bodens mit der Erzeugung von Infektionskrankheiten insbesondere von Malaria und Gelbfieber, aber auch von Cholera, Typhus und vielleicht auch von Enterie, Diphtherie und Tuberkulose in Verbindung gebracht werden kann. Doch ist auch dieser Zusammenhang nur lose und nicht oder nur unter besonderen Verhältnissen von ausschlaggebender Bedeutung. Eine engere Abhängigkeit von Regenfällen, von gewissen physikalischen Eigenschaften des Bodens gegenüber dem Wasser oder vom Grundwasser läßt sich für keine einzige Krankheit, nicht einmal für den in dieser Beziehung am gründlichsten studierten Typhus beweisen. Doch können wir andererseits einen gewissen Einfluß der Schwankungen in der Bodenfeuchtigkeit auf jene Krankheiten nicht nur nicht in Abrede stellen, sondern sind im Gegenteil gezwungen, einen solchen sowohl für Malaria und Gelbfieber, als offenbar auch für Cholera und Typhus thatsächlich anzunehmen. Es sind also hauptsächlich die Bedingungen der Wirkung dieser Bodenfeuchtigkeit und ihrer Schwankungen, die wir noch nicht kennen, wobei wir nur das leugnen, resp. als nicht bewiesen erklären müssen, als ob deren Einfluß entscheidend wäre, und speziell mit den Grundwasserschwankungen in einem irgendwie engeren, allgemeineren oder gleich gearteten Zusammenhang stände.

Alles zusammengefaßt, können wir also dem Boden und insbesondere

denjenigen Eigenschaften desselben, welche diesen zur Aufnahme und Zurückhaltung von Schmutz und Wasser befähigen, ferner denjenigen Faktoren, welche im Boden das Verhalten von Schmutz, Zersetzung, Leben und Gedeihen von Bakterien beeinflussen, nämlich der Temperatur, der Permeabilität, der Grundluft, dem Wasser und der Feuchtigkeit im Boden und deren Variationen, mit Rücksicht auf gewisse Infektionskrankheiten immerhin eine Bedeutung beilegen, obschon wir die spezifische und unerläßliche oder auch nur ausschlaggegende Bedeutung des Bodens mit Bezug auf jene Krankheiten nicht zu behaupten vermögen, und insbesondere derzeit nicht imstande sind, die Mittel und Wege klar nachzuweisen, mittelst welcher jene Bodenverhältnisse auf die genannten Infektionskrankheiten eine Wirkung ausüben, und nicht imstande sind, einen siechhaften Boden von einem immunen, noch den der Epidemie günstigen Zeitpunkt vom ungünstigen im Boden zu unterscheiden und nachzuweisen.

Daß dieser Stand der Kenntnisse uns als Forscher nicht befriedigt, ist klar; es bedarf also neuerer und besserer Untersuchungen, um die Bodenhygiene auf solidere wissenschaftliche Grundlagen basiren zu können. Die praktische Grundlage der Bodenhygiene ist aber auch heute schon sehr wertvoll und führte schon bisher zu sehr erfreulichen Resultaten. Der Praxis, der öffentlichen Gesundheitspflege, dem Gemeinwohl können unsere erreichten hygienischen Kenntnisse über den Boden auch heute schon als wesentliche Stütze dienen.

B. Andere Wirkungen der Bodenverhältnisse auf die öffentliche Gesundheit.

Neben einem gewissen Kausalnexus, den es zwischen bestimmten Bodenverhältnissen und einigen en- und epidemischen Infektionskrankheiten nachzuweisen gelang, kann nicht übersehen werden, daß gewisse Verhältnisse des Bodens auch auf anderen Wegen imstande sind, die Bedingungen der öffentlichen Gesundheit, namentlich Wohnungen, Trinkwasser etc. zu beeinflussen. Da die Erörterung dieser Einflüsse vorwiegend in die Kapitel Wohnung (Band IV), Wasserversorgung (Band I) etc. gehört, will ich mich hier auf die Bezeichnung der Richtungen beschränken, in welchen eine gewisse Wirkung des Bodens sich kundgiebt.

Da wäre zunächst die Elevation des Bodens, welche sich hinsichtlich der Epidemien so vorteilhaft erwies, aber in anderen sanitären Beziehungen häufig schwere Gesundheitsschäden im Gefolge führt: sie macht die Kommunikation ermüdend und erschöpfend, kann bei Platzregen durch den rapiden Abfluß der Wässer allgemeine Gefahren heraufbeschwören, die Kanalisation, sowohl mit Bezug auf den Bau als auf die Spülung der Siele, durch allzu schnellen Abfluß des Wassers und durch die starken Strömungen der Sielluft erschweren, durch die in der Regel vorherrschenden starken Winde Erkältungen verursachen, der Versorgung mit Wasser Hindernisse bereiten u. s. f.

Demgegenüber sind aber die hygienischen Vorteile einer erhöhten Lage doch überwiegend, auch schon darum, weil die epidemischen Krankheiten aus den im Obigen erörterten Gründen hier seltener auf-

treten, und weil die bewegte Luft in der Regel erquickend, rein, abhärtend, das Wasser rein und gesund ist.

Die hygienischen Eigenschaften des Höhenklimas werden eingehender in der Klimatologie (siehe Band I) behandelt[171].

Eine ebene Lage erleichtert die Kommunikation und verbessert durch ihre Fruchtbarkeit die Ernährung, ist also im ganzen genommen günstig, kann aber auch ungesund werden, wenn das Grundwasser infolge ungenügenden Gefälles des Bodens am Abfluß behindert ist, stagniert und hoch ansteigt, und wenn die Entfernung der Unreinigkeiten aus demselben Grunde erschwert ist.

Am ungesundesten ist der vertiefte, muldenförmige Boden, weil sich hier Grundwasser und Unreinigkeiten besonders leicht anhäufen werden, und weil das Trinkwasser in der Regel schlecht ist, die Luft stagniert, die Kanalisation Schwierigkeiten begegnet etc., was nicht nur auf die Verbreitung von Epidemien von Einfluß ist, sondern auch den Komfort und die Annehmlichkeit unserer Wohnungen beeinträchtigt, und unser ganzes Leben unangenehm beeinflußt.

Die Struktur des Bodens ist neben ihrer epidemiologischen Bedeutung auch auf die Bauart von Einfluß. Ein kompakter, fester Boden erschwert die Ausführung von Gebäuden und Sielen, aber auch ein zu lockerer Boden verursacht Hindernisse, weil er der Festigkeit der Fundamente von Gebäuden und der Siele gefährlich ist.

Die Bodentemperatur ist von Bedeutung, weil von ihr die Temperatur der Keller und des Grundwassers abhängt, im Winter warm, im Sommer kühl, oder überhaupt gleichmäßiger, konstanter gehalten wird. Sie beeinflußt auch die Temperatur der Wasserleitungen, indem das Wasser in zu seicht verlegten Röhren im Winter zu kalt wird und auch gefrieren, im Sommer aber eine allzu hohe Temperatur annehmen kann.

Die Bodenfeuchtigkeit und das Grundwasser fallen nicht nur in epidemiologischer Beziehung, sondern auch mit Rücksicht auf andere hygienische Eigenschaften unserer Wohnungen sehr schwer ins Gewicht.

Ein feuchter Boden mit hohem Bindevermögen und kapillarer Leitung für Wasser hält die Mauern und besonders die Fundamente der Gebäude feucht und verursacht dadurch Abkühlung und Kälte; er vermindert die so wichtige Ventilation durch die Poren der Mauern, verursacht Schimmelbildung, Vermoderung der Holzbestandteile und Verderbnis der Möbel, Kleidungsstücke und Nahrungsmittel in den Häusern durch Pilzvegetationen. In feuchten Gebäuden können auch die Erreger gewisser Infektionskrankheiten konserviert werden, wo dann der feuchte Boden auf indirektem Wege, durch Vermittelung der Wohnungen die Erhaltung und Verbreitung jener Krankheiten (Cholera, Typhus, Diphtherie, Tuberkulose) fördern kann.

Ein trockener Boden führt mitunter zu arger Staubbildung, namentlich auf kalkhaltigem Boden.

Bei hohem Grundwasserstand können die geschilderten Nachteile der Bodenfeuchtigkeit in Wohnhäusern besonders stark hervortreten, so daß der Grundwasserstand auch auf diesem indirekten Wege die schon erwähnten Infektionskrankheiten zu beeinflussen vermag; außerdem kann ein Ansteigen des Grundwassers die Wohnungen durch Austreten in den tiefer gelegenen Räumen, Kellern, Magazinen schädigen, es kann die Grüfte in Kirchhöfen überfluten und überhaupt die Begräb-

nisse erschweren u. s. f. Zu Anfang der 80er Jahre wurden in Budapest auf diese Weise Grüfte überschwemmt, und im neuen städtischen Krankenhause die im Boden verlegten Rohre der Dampfheizung abgekühlt und hierdurch arge Störungen verursacht. (Vergl. S. 92.)

Ein hoher Stand des Grundwassers führt ferner zur Bildung von Wassertümpeln und Sümpfen, welche neben den oben erörterten epidemiologischen Gesundheitsschäden das bebaubare Land einschränken, den Ertrag des Bodens verringern und dadurch die Ernährung und so auch die Widerstandskraft der Bevölkerung gegen Krankheitsursachen beeinträchtigen. Bei oberflächlichem Grundwasser wird nicht nur der Boden, sondern auch die Luft, das Klima feucht, kühl und nebelig; ein solches Grundwasser ist, weil es in verunreinigten oberflächlichen Bodenschichten steht, in der Regel auch als Trinkwasser schlecht.

Bei tiefem Grundwasserstand sind die Häuser trocken, und ist das Trinkwasser zumeist angenehm und gesund, doch kann es zuweilen schwierig sein, das Wasser zu erreichen und zu heben. Noch schwieriger wird die Wasserversorgung, wenn überhaupt kein Grundwasser da ist. Bei so bestellten Bodenverhältnissen können verschiedene Gesundheitsschäden entstehen, weil die Reinlichkeit und Körperpflege, sowie die Reinhaltung der Wohnungen erschwert ist, entsprechende Abtrittssysteme (Kanalisation) infolge von Wassermangel nicht leicht eingerichtet werden können, Schmutz, Gestank und Staub überhand nehmen. Die Vernachlässigung der Hautpflege führt zu Hautkrankheiten u. s. f.

Ein mit organischen Substanzen verunreinigter Boden wird uns mit den von der Oberfläche entweichenden in Zersetzung befindlichen Staubtheilchen und Bakterien, mit der ausströmenden Grundluft, sowie den in die Tiefe dringenden Unreinigkeiten und Infektionsstoffen zunächst die Atmosphäre und das Trinkwasser verunreinigen und infizieren, aber dieselbe Wirkung auch auf die Mauern von Gebäuden ausüben können. Von einem verunreinigten und feuchten Boden kann nämlich ein konstanter Feuchtigkeitsstrom gegen den vor Regen geschützten Untergrund der Häuser und die Grundmauern gerichtet sein. Hierdurch kann Wasser und die in dasselbe aus dem Boden in Lösung übergegangene Unreinlichkeit in die Mauern eindringen, von deren Oberfläche das Wasser fortwährend verdunstet und die Schmutzstoffe zurückläßt, welche zerstäubt in die Luft gelangen. Die physikalischen Verhältnisse werden also bewirken, daß auf einem verunreinigten Boden auch dem Inneren der Häuser fortwährend Unreinigkeit zugeführt wird, wodurch die Bodenverunreinigung einen indirekten Einfluß auf die Infektionskrankheiten erlangt.

Ein an organischen Substanzen reicher Boden ist auch der Solidität und Sicherheit der Gebäude gefährlich, da die organischen Stoffe in Verwesung und Mineralisierung übergehen, ausgelaugt werden und allmählich aus dem Erdreich verschwinden, welches sich infolgedessen setzen wird. In Moorboden auf Pfahlrosten erbaute Häuser pflegen nach Drainage infolge der Austrocknung des Bodens und Zersetzung der organischen Substanzen ein solches Setzen zu zeigen.

Allgemeines.

1) *Vgl.* **Fodor**, *Hyg. Unters. über Luft, Boden u. Wasser* 2. *Bd.* 355; *ferner A. f. Hyg.* 2. *Bd.*; **D. Cunningham**, *Uffelmann's Jahresbericht* (1889) 234.
2) *Vgl.* **Nägeli**, *Die niederen Pilze, München* (1877) 70 *ff.*

Malariafieber.

3) *Handb. d. hist.-geogr. Pathol., Stuttgart* (1881—83).
4) *Traité de géogr. et de statist méd., et des malad. épid., Paris* (1857); *ferner Traité des fièvres intermittantes, Paris* (1841).
5) *Traité des fièvres intermittantes, Paris* (1870); *ferner Traité des maladies épidemiques, Paris* (1879).
6) *Conférences médicales sur la malaria, Paris* (1887).
7) *Vgl.* **J. Arnould**, *Nouveaux élém. d'hyg., Paris* (1889) 121.
8) *a. a. O.* 1. *Bd.* 181.
9) **Hirsch**, *a. a. O.*
10) *Inaug.-Dissert., Freiburg* (1887).
11) *VI. internat Kongr. f. Hyg.*
12) *Die Malaria von Rom, übers. von A. Schuster, München* (1882).
13) *La malaria in Italia, Roma* (1883).
14) *A. f. exp. Path.* (1879) 11. *Bd.* 5—6.
15) *Americ. Journ. of Med. Sc.* (1866), *January.*
16) **Tommasi-Crudeli**, *Die Malaria von Rom, München* (1882).
17) *Rev. d'hyg.* 10. *Bd.* 978.
18) **Kelsch & Kierner**, *Ann. d'hyg.* (1888) 2. *Bd.* 511.
19) **Hirsch**, *Handb. d. hist.-geogr. Path.* 1. *Bd* 201; *ferner* **Kelsch & Kierner**, *a. a. O.*
20) **Hirsch**, *a. a. O.*; *ferner* **R. Müller**, *Berl. klin. Woch.* (1888) 30; **Roewer**, *D. m. Zeit.* (1890) 67.
21) **Pietra Santa**, *Journ. d'hyg.* (1877) 33; **Klebs & Tommasi-Crudeli**, *a. a. O.*
22) **Dose**, *Zur Kenntnis der Gesundheitsverhältnisse des Marschlandes* (1878).
23) **Klebs** *u.* **Tommasi-Crudeli**, *a. a. O.*; **Sforza & Gigliarelli**, *La malaria in Italia, Roma* (1885).
24) **S Lévy**, *Traité d'hyg.* (1869) 1. *Bd.* 461.
25) *Prager Vierteljahrsschrift* (1870).
26) **Soyka**, *Der Boden* 41.
27) **Mavrogény Pascha**, *a. a. O.;* **Roewer**, *D. m. Zeit* (1890) 67.

Gelbfieber.

28) *a. a. O.;* **Uffelmann's** *Jahresbericht* (1889) 246.
29) *a. a. O.* 1. *Bd.* 252.
30) *V. f. öff. Ges.* (1877).
31) **Hirsch**, 267.
32) **Hirsch**, 258.
33) **Hirsch**, 260.

Cholera.

34) *Eine erschöpfende Anführung der* **Pettenkofer**'*schen Arbeiten über die Cholera kann im enge angewiesenen Rahmen dieses Werkes nicht gegeben werden, ist aber auch nicht nötig, da der unermüdliche Forscher den Kern seiner Arbeiten selbst gesammelt und im* ***Archiv für Hygiene*** (*Bd. IV, V und VI*) *sowie später als selbständigen Band veröffentlicht hat.* (*Zum gegenwärtigen Stand der Cholerafrage. München.* 1887.)
35) **Uffelmann's** *Jahresber.* (1885) 26.
36) **Hirsch**, *Handb. d. hist.-geogr. Path., Stuttgart* (1881—83) 1. *Bd.* 304.
37) *Chol.-Konferenz, D. med. Woch.-Beilg.* 46; *ferner A. f. Hyg.* 5. *Bd.* 357.
38) *Die Cholera, Braunschweig* (1885) 20.
39) *Vgl. Chol.-Konferenz, D. med. Woch.* (1885), *Beilage*, 45.
40) *Vierter Jahresber. d. Land-Med.-Koll., Dresden* (1874).
41) *A. f Hyg.* 5. *Bd.* 374—376.
42) *A. f. Hyg.* 6. *Bd.* 200.
43) *A. f. Hyg.* 4. *Bd.* 513.
44) *Cholera-Konferenz, D. med. Woch.* (1885).
45) **Pettenkofer**, *A. f. Hyg.* 6. *Bd.* 192; **Hirsch**, *Hist.-geogr. Path.*, 1. *Bd.* 311.
46) *C. f. Bakt.* (1892) 2. *Bd. Nr.* 25.
47) **Fodor**, *Hyg. Unters. üb. Luft, Boden u. Wasser, Abt. II Taf. VIII.*
48) *A. f. Hyg.* 6. *Bd* 315.
49) *Der Boden der Stadt Wien* 304.
50) *Chol.-Konferenz, D. med. Woch.* 50.
51) *A. f. Hyg.* 6. *Bd.* 193; **J. M. Cunningham**, *Die Cholera, Braunschweig* (1885) 16.
52) *Bericht d. VI. internat. Kongr. f. Hyg. u. Dem, Wien* 18. *H.*
53) **Fodor**, *a. a. O.*

54) *Untersuchungen u. Beobachtungen über die Verbreitungsart der Cholera, München* (1855) 239, 268.
55) *Z. f. Biol.* 4. *Bd.* 167—212.
56) *Die Chol.-Epid.* 1873 *im Königr. Sachsen, Berlin* (1876) 62.
57) *Generalbericht über die Chol.-Epid. im Königr. Bayern* 1873/74, *München* (1877).
58) *Die Chol.-Epid.* 1873 *im Königr. Württemberg, Berlin* (1877).
59) **Marquart**, *D. mil.-ärztl. Zschr.* (1878) 9. *H.*
60) *Abh. d. Naturwiss. Vereins zu Magdeb.* (1874) 5. *H.*
61) **Zehnder**, *Bericht üb. d. Chol. im Kanton Zürich* (1871) 21.
62) *Second Rep. of the Med. Off. of the Privy Council* (1859).
63) *Hyg. Unters. üb. Luft, Boden u. Wasser* 2. *Bd.* 231.
64) *Chol.-Konferenz, D. med. Woch.* (1885).
65) *A. f. Hyg.* 5. *Bd.* 427.
66) *A. f. Hyg.* 6. *Bd.* 20.
67) *Chol.-Konferenz, D. med. Woch.* (1885).
68) *A. f. Hyg.* 4. *Bd.* 421.
69) *Chol.-Konferenz, D. med. Woch.* (1885).
70) *Z. f. Biol.* 4. *Bd.*
71) *Z. f. Biol.* 7. *Bd.*
72) *A. f. Hyg.* 6. *Bd.* 64.
73) **Hirsch**, *a. a. O.* 322.
74) *Die Cholera in ihrer Heimat.*
75) *Seventh Annual Report, Government of India* (1877).
76) *Med. Times and Gazette* 1868.
77) **J. L. Bryden**, *Cholera in Bengal Presidency, Calcutta* 1874.
78) *History of Cholera in India* (1882).
79) *A. f. Hyg.* 6. *Bd.* 32 *ff.*
80) *Bericht über die Thätigkeit der zur Erforschung der Cholera . . . . entsendeten Kommission, Berlin* (1887) *Taf. XXIII.*
81) *Chol.-Konferenz, D. med. Woch.* 34.
82) *Vgl. A. f. Hyg.* 6. *Bd.* 70.
83) *A. f. Hyg.* 6. *Bd.* 81.
84) **Babes, Gruber**, *II. internat. hyg. Kongreſs Wien, XVIII. H.*
85) *Daselbst*, 50.
86) *Die Choleraepidemie in Hamburg* 1892, *Berlin* (1893).
87) *Die niederen Pilze, München* (1877) 70.
88) *Hyg. Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser, Braunschweig* (1881—82); *ferner Ueber den Einfluſs d. Wohnungsverhältnisse auf d. Verbreit. v. Cholera u. Typhus, A. f. Hyg.* 2. *Bd.*
89) *Hyg. Unters.* 2. *Bd.*
90) *A. f. Hyg.* 2. *Bd.*
91) *VI. internat. Kongr. f. Hyg. H. XVIII* 168.
92) *Bericht . . z. Erforsch. d. Chol.* 232.

Typhus.

93) *Z. f. Biol.* 1. *Bd.* 1.
94) *Hdb d. hist.-geogr. Path.* (1881) 1. *Bd.* 463.
95) *Bull. de l'Acad de méd. XXXI.*
96) **Arnould**, *Nouveaux éléments d'hygiène* (1889) 20.
97) *Rec. des travaux du comité consultat. d'hyg de France* 18. *Bd.* 487.
98) **Hirsch**, *Hist.-geogr. Path.* 1. *Bd.* 458; **Butter**, *Vjchr. f. ger. Med.* (1883) 208; **Port**, *A. f. Hyg.* 1. *Bd.* 91.
99) *s.* **Arnould**, *Gaz. med.* (1875) *Nr.* 7 *u. ff.*
100) *A. f. Hyg.* 6. *Bd.* 280.
101) *Der epidemiologische Teil des Berichtes etc., München* (1888) 88.
102) **Fodor**, *Hyg. Unters.* 2. *Bd. Taf. VII, VIII.*
103) **Port**, *a. a. O.* 91; *neuestens* **Königer**, *Uffelmann's Jahresber.* (1886) 153.
104) *Vgl.* **Hirsch**, *a. a. O.*
105) *z. B. Second Report of the Med. Off. of the Privy Council* (1859).
106) *Hyg. Unters.* 2. *Bd.* 262.
107) *Trinkwasser u. Bodengase, Basel* (1874).
108) *Uffelmann's Jahresber.* (1888) 192.
109) *Der epidem. Teil etc.* 44.
110) *Rec. des trav. du com. cons. d'hyg.* 18. *Bd.* 513.
111) *A. f. Hyg.* 6. *Bd.* 260.

112) *A. f. Hyg.* 6. *Bd.*
113) s. **Pettenkofer**, *Der epidem. Teil* 48.
114) *Uffelmann's Jahresber.* (1887) 189.
115) *Prager Vierteljschr. CXXXIX.*
116) *Rep. of the Board of Health* (1884).
117) *Der Typhus in Hamburg* (1889).
118) *Ctrbl. f. allg. Ges.-Pfl.* (1888).
119) *Hyg. Unters. über Luft, Boden und Wasser, Braunschweig* (1881—82) 2. *Bd.*
120) *Volkmann's Samml. klin. Vortr.*
121) *Uffelmann's Jahresbericht* (1889, 1890).
122) *Wien. med. Woch.* (1878) 1116.
123) *Typhusepidemie in Chemnitz, Berlin* (1889).
124) *Z. f. Hyg.* 8. *Bd.*
125) *Rev. d'hyg.* (1883).
126) *Ninth Report etc.*
127) *Rep. Board of Health of Michigan* 1884.
128) *Acad. de méd. Mars* 1887.
129) *Der epidem. Teil* 28, 35.
130) *Uffelmann's Jahresbericht* (1885) 166.
131) *Centrbl. f. allg. Ges.-Pfl.* 5. *Bd.*
132) *Ninth Rep. of the Med. Off. of Health.*
133) *Gesammelte Abhandlungen* 2. *Bd.* 436—469.
134) *A. f. Hyg.* 6. *Bd* 282.
135) *Der epidem. Teil* 53.

Durchfall.

136) *Hyg. Unters.* 2. *Bd.* 176.
137) *Arbeiten a. d. Kais. Gesundheitsamte* 4. *Bd.* 28.
138) *Vgl* **Buch & Lewis**, *Med Times and Gazette* (1876) 1. *Bd* 94; **Lewis Smith**, *New York Med. Record* (1878), *Mai*; **Johnston**, *Med. Tim. and Gaz.* (1879), 52.
139) *Vgl. auch* **Fodor**, *Hyg. Unters.* 2. *Bd. Taf. IV.*
140) *D. med. Woch.* (1888).
141) *Med. Times* 1876.
142) *Daselbst.*
143) *Hyg Unters.* 2. *Bd. a. a. O.*
144) *Daselbst* 2. *Bd.* 167 *u. Taf. IV, V.*
145) *Berl. klin. Woch.* (1876) *Nr.* 8, 9.
146) *a. a. O.*
147) *Med. Tim. and Gaz.* (1880) 1. *Bd.* 330.
148) *Hyg. Unters.* 2. *Bd.* 176.
149) *Ninth Report etc.*

Diphtherie.

150) *Ueber Croup und Diphtherie im Kindesalter, Wien* (1884).
151) *Lehrb. d. Hyg., Leipzig u. Wien* (1892) 899.
152) *Arb. aus d. Kais. Ges.-Amte* 6. *Bd.* 216.
153) *Uffelmann's Jahresb.* (1885) 173.
154) *Kommentar zur Sanitäts-Karte der Bukovina, Wien* (1880) 76.
155) **X. Francotte**, *Die Diphtherie, übers. von* **M. Spengler**, *Leipzig* (1886) 114.
156) *Lehrb. d. Kinderkrankh.* (1890).
157) *Jahrb. d. Kinderheilk.* 26. *Bd.*
158) *Uffelmann's Jahresber.* (1883) 147.
159) *Daselbst* (1890) 248.
160) *Arch. f. Kinderheilk.* 2. *Bd.*
161) *Lehrb. d. Kinderkrankh.* (1892) 214.
162) **Francotte**, *op. cit.* 112.
163) *Transact. of the Seventh Internat. Congr. of Hyg. London* (1891) 1. *Bd.* 150.

Tuberkulose.

164) *Ninth and Tenth Report of the Med. Off. of the Privy Council* (1866 u. 1867).
165) **Roth & Lex**, *Handb. d. Milit. Ges.-Pfl.* 1872—77, 1. *Bd.* 306.
166) *Allg. med. Centr.-Ztg.* (1883) 1020.
167) *Internat. med. Kongr., Berlin* (1890).

168) *V. f. ö. Ges.* 6. *Bd.* 1. *H.*
169) *Z. f. Hyg.* 9. *Bd* 379. *Vergl. auch* **Kugler**, *Allg. med. C. Z.* (1890) 2004.
170) *Wiener med. Presse* (1888) *Nr.* 33.

Andere Wirkungen.

171) **Fuchs**, *Med. Geogr.*, *Berlin* (1853); **Mühry**, *Geogr. Verhalt. d. Krankh.*, *Leipzig* (1856); *Derselbe*, *Klimatolog. Untersuch.* (1858); **Ch. Pauly**, *Esquisse de climatologie comparée*, *Paris* (1874); **J. Hann**, *Handb. d. Klimatologie*, *Stuttgart* (1883); **A. Woeikof**, *Die Klimate der Erde*, *Jena* (1887); **S. Günther**, *Lehrb. d. phys. Geogr.*, *Stuttgart* (1891); *ferner* **Jourdanet**, *Influence de la pression de l'air*, *Paris* (1875); **Paul Bert**, *La pression barometrique*, *Paris* (1878); *Derselbe*, *Influence des altitudes*, *IV. internat. Kongr. f. Hyg. in Genf*; **Lombard**, *Influences hygieniques . . . . . des altitudes*, *ibidem*; **Senger**, *Mexico*, *Budapest* (*ungarisch*); *s. ferner die Lehrbücher der Hygiene und die mehrfach citierten Werke von* **Hirsch** *und* **Boudin**.

ACHTES KAPITEL.

Verseuchung und Assanierung des Bodens.

Ob ein Boden gesund oder ungesund ist, das wird, wie wiederholt hervorgehoben, hauptsächlich vom Grad seiner Feuchtigkeit und seiner Verunreinigung abhängen, da diese zwei Hauptfaktoren zur Entwickelung jener Bodenagentien führen, welche die öffentliche Gesundheit zu beeinträchtigen imstande sind. Doch sind Feuchtigkeit und Verunreinigung des Bodens in unablässigen Veränderungen und Schwankungen begriffen, und je nach deren Zu- oder Abnahme wird auch ihre Wirkung auf die öffentliche Gesundheit sich günstiger oder ungünstiger gestalten.

Diese Aenderungen in der Feuchtigkeit und Verunreinigung des Bodens sind einerseits Folge von Naturkräften, aber andererseits auch von menschlicher Sorglosigkeit und Egoismus abhängig. Die Bodenhygiene ist nun berufen, erstens alle Faktoren zu beleuchten, welche die Durchfeuchtung und Verunreinigung des Bodens zu erhöhen oder zu vermindern vermögen, dann aber auch die entsprechendsten Mittel festzustellen, mittelst welcher der Boden in den der Gesundheit zuträglichsten Zustand gebracht und darin erhalten werden kann. Ich werde also im folgenden die Verschlechterung der Salubrität des Bodens durch Wasser, Feuchtigkeit und Schmutz, sowie die Assanierung des feuchten und verunreinigten Bodens behandeln.

1. Insalubrität des Bodens infolge von Wasser und Feuchtigkeit.

Die Wirkungen des Wassers und der Feuchtigkeit, welche den Boden durchdringen, sind in hygienischer Beziehung sehr kompliziert, denn dieselben beeinflussen — wie oben ausgeführt wurde — einerseits den Verlauf der Zersetzungs- und Vegetationsvorgänge niederer Organismen, haben eine Wirkung auf die Feuchtigkeit der Wohnungen u. s. w., andererseits besorgen sie aber auch den natürlichen Reinigungsprozeß im Boden. Meteor- und Grundwässer sind nämlich die natürlichen Auslauge- und somit Reinigungsfaktoren des Bodens, und alles, was auf diesen Auslaugungs- und Reinigungsprozeß störend wirkt, kann eine Insalubrität des Bodens nach sich ziehen. Solche störende Momente sind nun die Ansammlung und Stagnation der

Niederschlags- und Grundwässer, die Sumpfbildung, doch anderseits auch die Abwesenheit der auslaugenden und reinigenden Kräfte, ein Mangel der zeitweisen Durchfeuchtung des Bodens, z. B. infolge von Regenmangel, oder Abschluß des Bodens gegen die Niederschlagswässer, z. B. durch Pflasterung.

Die Sumpfbildung infolge von Ansteigen und Stagnation des Grundwassers hat verschiedene Ursachen und ist bald Folge der gegebenen Naturverhältnisse, bald auf menschliche Eingriffe zurückzuführen. Am häufigsten liegt der Grund darin, daß die auf die Oberfläche gelangten Meteorwässer weder in die Tiefe sinken, weil die Bodenschichten nicht die nötige Permeabilität haben, noch auch oberflächlich abfließen können, weil das Gefälle zu gering ist. Die Sumpfbildung wird also auf Thon-, Mergel- und Lehmboden, welcher gleichzeitig eben oder muldenförmig ist, am häufigsten eintreten. Bei solchen Bodenverhältnissen kann es auch an hochgelegenen Stellen zur Bildung von Sümpfen und stagnierendem hohen Grundwasserstand kommen.

Auch den Flüssen entlang auf flachen Gebieten, in den Deltamündungen wird die Sumpfbildung und Grundwasserstauung häufig beobachtet, weil hier das Grundwasser nicht nur nach dem Fluß hin keinen Abfluß findet, sondern eventuell, besonders bei Hochwasser, auch vom Fluß her gespeist wird, von den Ueberflutungen des Ufergebietes gar nicht zu sprechen. Auf diese Weise kommen zustande: die Sümpfe und stagnierenden hohen Grundwässer auf Inundationsgebieten, die Sümpfe nach Ueberschwemmungen und die hinter den Dämmen bei Hochwasser durch hindurchsickerndes Flußwasser und aufgestautes Grundwasser gebildeten Sümpfe u. s. w.

Doch häufig sind an der Anstauung des Grundwassers infolge behinderten Abflusses menschliche Eingriffe schuld. So hat man in der Gegend der Dombes, welche mehr als 100 m über dem Rhonespiegel liegen, behufs Fischzucht mittelst einiger Dämme (barrages) den Abfluß des Regenwassers behindert und dadurch trotz der hohen Lage in dem thonigen Boden zahlreiche Seen und Sümpfe zustande gebracht[1]. Durch solche künstlichen Fischteiche hat man auch in anderen Gegenden eine Sumpfbildung künstlich herbeigeführt. Auch die den Flüssen entlang errichteten Dämme sind durch Behinderung des Wasserabflusses häufige Ursachen von Sumpfbildungen, und zu ähnlichen Folgen führen aus dem nämlichen Grunde häufig auch Eisenbahndämme, neben welchen Sümpfe entstehen, die Malaria erzeugen, wie das für die italienischen Eisenbahnen nachgewiesen wurde (s. oben). Stagnierende Wässer sammeln sich auch in schlecht angelegten oder verschlammten Straßengräben an.

Berieselungen und Reisfelder können ebenfalls häufig zu Sumpfbildung und Ansteigen der Grundwässer führen. Diesbezüglich verdienen besonders die in neuerer Zeit behufs Reinigung der Sieljauche angelegten Rieselfelder Beachtung. Diejenigen der Stadt Paris (in Gennevilliers) wurden wiederholt beschuldigt, daß sie ein Steigen des Grundwassers in der Nachbargemeinde verursacht haben.

Manche Gewerbeanlagen können auch durch Stauung oder übermäßigen Wasserverbrauch ein Ansteigen des Grundwasserspiegels bewirken. An anderen Stellen kommt es in den behufs Torfstechens, Ziegelschlagens oder Hanfweichens ausgehobenen Gruben zur Sumpfbildung.

Es wurde auch darauf hingewiesen, daß in Städten, die statt der

Brunnen Wasserleitungen angelegt haben, infolge geringerer Entnahme von Wasser aus dem Boden (und andererseits weil ein Teil des Leitungswassers in den Boden versickert) der Boden feuchter wurde, die Grundwasserspiegel überhaupt anstiegen und in Stagnation gerieten, so z. B. in Wien (Suess).

2. Assanierung des feuchten Bodens.

Diesen Schädlichkeiten gegenüber ist die Hygiene berufen, die Tagwässer: Sümpfe, oberflächlichen und stagnierenden Grundwässer zum Verschwinden zu bringen und den Boden trocken und durch Wasser auslaugbar zu machen. Solcher Assanierungswerke giebt es aber ebenso viele, als die Ursachen der Sumpfbildung und Grundwasserstagnation vielfältig sind. Natürlich hat die Assanierung vor allem die Ursachen der Feuchtigkeit zu beseitigen.

Manche Nationen haben zur Trockenlegung von Sümpfen, zur Ableitung der oberflächlichen Grundwässer und behufs Assanierung wertvoller Gebiete wahrhaft bewunderungswürdige Werke ausgeführt. Der Einrichtungen der alten Römer behufs Assanierung des Agro Romano wurde bereits oben (S. 162) Erwähnung gethan. Doch verdienen in neuerer Zeit auch ähnliche Werke in den Niederlanden Bewunderung, wo man tiefer als der Meeresspiegel gelegene Gegenden, die früher Meeresgrund waren, in wertvolle Felder umgewandelt hat. England hat besonders in seinen östlichen Küstenstrichen schon im vorigen Jahrhundert Bodenameliorationen im großen Maßstab ausgeführt und thut in der Gegenwart dasselbe in seinen Kolonien. In neuerer Zeit sind die Assanierungen der Landes-, Dombes- und Sologne-Gebiete in Frankreich, die Stromregulierungen im Po- und Etsch-Thale, die Trockenlegung und Bebauung der pontinischen Sümpfe, der toskanischen Maremmen und des Fucino-Sees in Italien, endlich die gleichfalls schon im vorigen Jahrhundert begonnenen Flußkorrektionen, Ableitungen und Bodenameliorationen in Südungarn also die großartigsten Bodenassanierungswerke erwähnenswert.

Das 8000 qkm umfassende Landes-Gebiet in Westfrankreich, welches früher dünn bevölkert und ungesund war, ist jetzt ein blühender Landstrich. Die Bresse und namentlich der Dombes genannte Teil in der Nähe von Lyon (112,725 Hektare) wurde durch Trockenlegung der stagnierenden Gewässer und Sümpfe, durch Versorgung der Fischteiche mit frischem Wasser, Anlage von Tiefbrunnen und insbesondere durch intensive Bodenkultur und Baumpflanzungen gleichfalls assaniert. Früher betrug das Mortalitätsverhältnis hier 40,4 p. M., und es konnten kaum wehrfähige Männer gefunden werden; nach den Assanierungswerken ging die Sterblichkeit bedeutend zurück (25,4 p. M. im Jahre 1870), und auch die Körperkraft und Gesundheit der Bevölkerung haben zugenommen. Aehnliche sanitäre Erfolge wurden mit der Assanierung des Bodens auch in anderen Gegenden Frankreichs erzielt [2].

Auch in Südungarn haben die Flußregulierungen und Ableitungen, und insbesondere die landwirtschaftlichen Ameliorationen zu überraschenden Resultaten geführt, die auch durch Anlage von Tiefbrunnen und artesischen Brunnen, welche im ungarischen Tiefland (Alföld) jetzt schon zahlreich angetroffen werden, unterstützt wurden.

In den volkreichen Städten und Dörfern des Alföld ist die Malaria nun kein gefürchteter Gast mehr. Die Bodenameliorationen in Deutschland (Jadebucht, Wilhelmshafen) sind zur Genüge bekannt.

Wir können hier nicht alle die unzählbaren Mittel schildern, mit welchen die moderne Hydrotechnik stagnierende Gewässer ableitet, die in breiten Betten langsam dahinfließenden Wasserläufe einengt und beschleunigt, und mit rasch fließenden Kanälen speist — oder die in Holland durch Windmühlen betriebenen Pumpen beschreiben, welche das Wasser aus Vertiefungen heben, und die zum selben Zweck angewendeten modernen Dampfmaschinen [3]. Ich will also bloß die in der Praxis mehr verbreiteten Verfahren kurz angeben. Hierher gehören:

Das Ziehen von Gräben und Kanälen, welche das Wasser ableiten und den Grundwasserspiegel auf das Niveau der Grabensohle herabsetzen (Fig. 17). Es ist nicht zu vergessen, daß das Ausheben der Gräben, wie jede Arbeit in brach gelegener feuchter Erde, für die Arbeiter besonders zur warmen Jahreszeit gefährlich ist, weil es, wie oben gezeigt

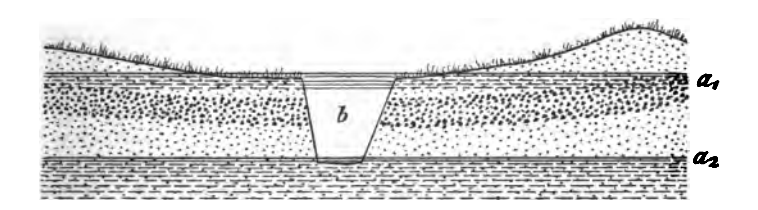


Fig. 17. Senkung des Grundwassers durch Gräben. a_1 Höhe des Grundwasserspiegels vor Anlage des Grabens. a_2 derselbe bis auf die Grabensohle gesenkt. *b* Entwässerungsgraben.

wurde, Malariafieber verursacht. Der Nutzen der Gräben hört auf, wenn das Gefälle fehlerhaft ist oder Verschlammung eintritt, weil dann das stagnierende Wasser Malaria erzeugt. Besonders gesundheitsschädlich wirkt das Einleiten von Stalljauche, Fäkalien, Industrie- und anderen Abfällen, oder das Einweichen von Hanf in solchen zur Trockenlegung des Bodens bestimmte Gräben.

Die Drainage ist ein modernes Mittel zum Senken des oberflächlichen Grundwasserspiegels, welches nicht bloß zu Assanierungszwecken, sondern auch in der landwirtschaftlichen Bodenamelioration weite Verbreitung gefunden hat, und besonders zur Entwässerung von durch Berieselung bewässerten Feldern angewandt wird. Zu diesem Behufe pflegt man gebrannte Thonröhren von 3—5—10 und mehr cm Durchmesser (Fig. 18 *a*) oder auch zweckentsprechend aufgerichtete Backsteine oder Dachziegel (*b* und *c*) 1—$1^1/_2$ und mehr m tief der Länge nach so in den Boden zu verlegen, daß die so gewonnene Ableitung mit mäßigem Gefälle einem tiefer gelegenen Endpunkt zustrebt (Fig. 19). Das zu entwässernde Terrain wird mit einem Netz solcher Röhren durchsetzt, dessen einzelne Stränge auf 12—24 m voneinander liegen. Am Endpunkt wird das Drainagewasser in einen Fluß oder Bach, wenn diese tiefer liegen, frei ausfließen, im entgegengesetzten Fall aber mittelst Maschinenkraft dahin gehoben werden.

Die Kanalisation bewirkt in der Regel auch eine Trockenlegung des Bodens. Grundwasser, dessen Spiegel höher als die Kanalsohle

liegt, wird durch die Wand in das Siel eindringen und mit der Sieljauche abfließen. Diese austrocknende Wirkung der Kanalisation auf den Boden ist schon seit langem bekannt. Liverpool verbrauchte täglich 12,750,000 Gallonen Leitungswasser, wogegen die Siele an regenlosen Tagen 26 Mill. Gallonen abführten; der Ueberschuß ist offenbar in die Siele eingedrungenes Grundwasser [4] Aehnliches hat man in

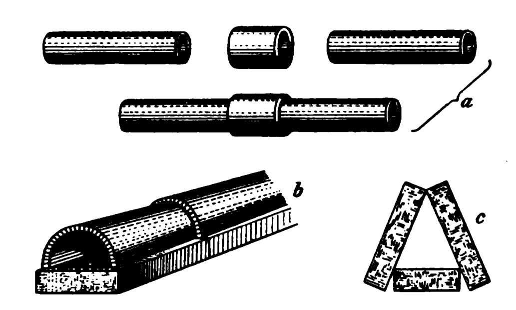


Fig. 18. Drainage durch *a* gebrannte Thonröhren, *b* Backsteine und Dachziegel, *c* Backsteine.

zahlreichen anderen Städten Englands beobachtet (Corfield) [5]. Die Drainagewirkung der Kanalisation, welche noch besonders erhöht werden kann, wenn man die Sohlenpartie der Siele aus drainierenden Steinzeugstücken herstellt, oder neben die Siele noch besondere Drainrohre verlegt, hat ihren Grund nicht nur darin, daß die Siele Grundwasser aufnehmen und ableiten, sondern auch in der Lockerung des Bodens beim Bau der Siele, wodurch muldenförmige, mit undurchlässigen Rändern versehene Wasserbecken nach allen Richtungen durchschnitten und dem Grundwasser leichte Abflußwege bereitet werden. (Näheres siehe in Band II dieses Handbuchs, unter Kanalisation.)

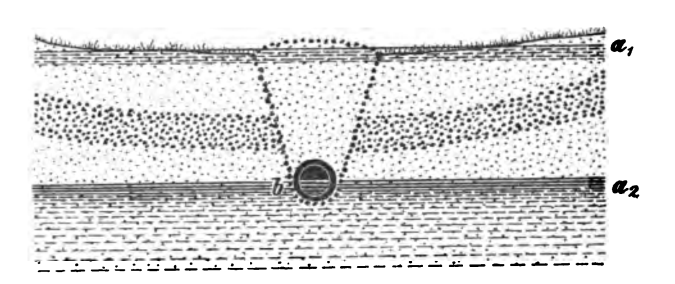


Fig. 19. Austrocknung durch Drainage. a_1 Höhe des Grundwasserspiegels vor, a_2 nach Anlage der Drainage, *b* Drainrohr.

Schwindbrunnen werden an Orten angelegt, wo oberflächliches Grundwasser auf einer nicht tiefgelegenen und nicht sehr mächtigen impermeablen Schicht angesammelt steht, unter welcher eine durchlässige Schicht (Kies, Sand) sich auf beträchtliche Tiefen ausdehnt, die noch Wasser aufnehmen kann. In solchen Fällen wird die impermeable

Schicht bis auf den Kies mittelst unausgemauerten Brunnen durchbohrt, und letztere werden mit Stein- und Ziegelfragmenten angefüllt, zwischen welchen das oberflächliche Grundwasser in die Tiefe sinkt. (Fig. 20.) Auch durch Drainrohre gesammeltes Grundwasser kann mittelst Schwindbrunnen in die Tiefe abgeleitet werden.

Die Anschüttung des Terrains oder Colmatage trachtet auf indirektem Wege den Grundwasserspiegel von der Bodenoberfläche zu ent-

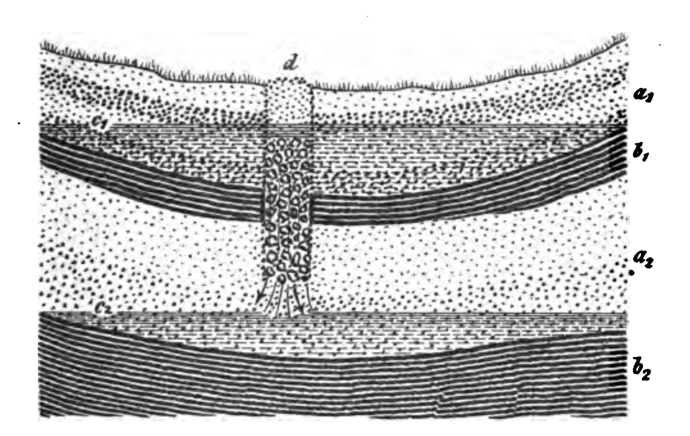


Fig. 20. Schwindbrunnen. a_1 wasserführende Schicht, b_1 undurchlässige Schicht, welche den Abfluſs des in a_1 enthaltenen Wassers verhindert, d der mit Steinfragmenten gefüllte Schwindbrunnen, a_2 die Wasser führende Schicht, welche das aus a_1 stammende Wasser aufnimmt, b_2 die undurchlässige Schicht unter a_2, c_1 der frühere Grundwasserspiegel, c_2 der „gesenkte" Grundwasserspiegel.

fernen. Sie besteht ursprünglich darin, daß man sinkstoffhaltige Gewässer bei Hochwasser in die tiefer gelegenen Gebiete austreten läßt, wo die abgesetzten Sinkstoffe das Terrain allmählich erhöhen. Auf diese Weise wurden entlang des Po und der Etsch weite Gebiete erhöht. In anderen Fällen werden Bäche oder Flußarme mit schnellerer Strömung auf lockeren Boden geleitet, von wo sie das Erdreich wegschwemmen und auf den tiefliegenden Stellen ablagern. Doch wird auch direkte Anschüttung mit zugeführtem Erdreich angewendet. So hat man einen großen Teil von Wilhelmshaven angeschüttet [6], und auch in Budapest wurden seit 1838 ganze Stadtteile, in neuerer Zeit aber die tieferen feuchten und sumpfigen Teile des Stadtparkes auf diese Weise erhöht.

Ferner trachtet man die Bodenfeuchtigkeit durch Anpflanzung einer Vegetation zu verringern, welche rasch wächst und viel Wasser aufzusaugen und zu verdunsten imstande ist [7]. In früheren Zeiten war Helianthus annuus beliebt, in neuerer Zeit hat man Eucalyptus-Arten (E. globulus, marginata, amygdalina etc.) versucht, so besonders in Algier und Italien, aber auch in Oesterreich (dalmatinische und istrianische Küsten, Pola). Die Bäume verbrauchen zu ihrem schnellen Wachstum und zur Belaubung viel Wasser und organische Substanzen und bewirken die Austrocknung des Bodens angeblich auf diesem Wege. Während man sich auf einer Seite lobend äußert (Naudin) [8], lauten die italienischen Erfahrungen durchaus un-

günstig, insbesondere nachdem im Kloster Tre Fontane, welches man mittelst Eucalyptus assaniert zu haben glaubte, seit 1882 die Malaria in der alten Heftigkeit auftrat (Tommasi Crudeli)[9]. Seitdem ist man wieder auf die alten Anpflanzungen von Ahorn, Eichen, Laurus glandulosa etc. zurückgekommen[10].

Die Assanierung kann auch mit einem dem Obigen ganz entgegengesetzten Verfahren, nämlich durch konstantes Unterwassersetzen des Terrains erreicht werden, welches auf der Erfahrung fußt, daß der Sumpfboden gerade durch die Schwankungen des Wassers, durch die abwechselnde Ueberflutung und Austrocknung gesundheitsschädlich wird. Nach in Südfrankreich gesammelten Erfahrungen hören Seen und Sümpfe auf, faulig und schädlich zu sein, wenn der Wasserstand in denselben 1 m erreicht[11]. Eine Vertiefung des Bodens der Sümpfe führt also oft zur Assanierung, was teilweise auch durch zeitweilige Reinigung des Grundes von Schlamm und niederem Pflanzenleben erreicht wird.

Zur Verminderung der durch Feuchtigkeit verursachten Schädlichkeiten dient überdies eine gehörige Bearbeitung und Bewirtschaftung des Bodens. Durch Ackern und Bebauen und durch die damit einhergehende Auflockerung und Durchlüftung, durch das rasche Wachstum von Getreide und Futtergräsern wird die Austrocknung und Assanierung der Erde in hohem Maße gefördert. Andererseits können gesunde Gegenden mit Abnahme der Kultur malarisch werden, und Colin hebt hervor, daß die Umgebung von Rom mit dem Zeitpunkt anfing ungesund zu werden, als die Stadt an Macht zunahm und aufhörte die Felder zu bebauen, sondern das Korn aus den Provinzen importierte. In diesem Sinne äußern sich auch italienische Fachmänner auf Grund der bei den neueren Assanierungsarbeiten dort gemachten Erfahrungen (Tommasi Crudeli).

Mit den beschriebenen Austrocknungs- und Assanierungswerken kann man auch bei ungünstigen Verhältnissen schätzbare Resultate erzielen. Hierfür sprechen neben den europäischen insbesondere auch die in den Tropen gesammelten Erfahrungen. So hat Stokvis auf dem X. (Berliner) internat. mediz. Kongreß die Mitteilung gemacht, daß in dem früher als durchaus ungesund bezeichneten Jamaica jetzt eine geringere Sterblichkeit herrscht, als in Spanien oder Italien, und hat dieses Resultat der rationellen und energischen Assanierung des Bodens und der Ortschaften zugeschrieben.

Wo die Feuchtigkeit des Bodens von spezifischen lokalen Ursachen abhängt, wird man dieselbe durch entsprechende lokale Maßnahmen verringern. In der Umgebung einzelner Häuser oder Gewerbeanlagen kann man eine übermäßige Durchfeuchtung des Bodens durch Meteor- oder Industriewässer mittelst entsprechender Pflasterung verhindern und das Wasser in Gräben ableiten. Man darf aber mit Recht die Frage aufwerfen, ob ein Bedecken des Bodens mit luftdichtem Pflaster in großer Ausdehnung nicht in anderer Hinsicht schädlich wirkt, da hierdurch das Austrocknen des Bodens verhindert und dieser konstant feucht erhalten, namentlich aber eine Auslaugung und Entfernung der organischen Substanzen und deren Zersetzungsprodukte aus dem Boden verhindert wird. Diese Frage verdient weitere Beachtung und Untersuchung.

Gruben in Ziegeleien, Hanfweichen und andere kleinere natürliche

Bodensenkungen, welche Wasser ansammeln, müssen zugeschüttet werden, insbesondere wenn es unmöglich ist, das Wasser durch Gräben, Schwindbrunnen etc. zu entfernen.

Besondere Sorgfalt erheischt die Trockenlegung und Assanierung des Bodens nach Ueberschwemmungen. Diesbezüglich finden sich detaillierte Angaben und Anweisungen bei Rózsahegyi[12], Du Claux[13], ferner in zahlreichen amtlichen Instruktionen und Verordnungen.

3. Durch Abfallstoffe verunreinigter Boden und dessen Assanierung.

Der Boden unserer Wohnungen ist besonders in Städten durch menschliche und tierische Exkremente, Abfälle und Abwässer der Haushaltungen und Gewerbeanlagen, Leichen von Menschen und Tieren etc. einer vielseitigen und hochgradigen Verunreinigung ausgesetzt. Ein beträchtlicher Teil dieses Schmutzes bleibt an der Oberfläche des Bodens haften, geht hier in Fäulnis über, trocknet aus und zerstäubt und gelangt schließlich in Wohnungen, Nahrungsmittel und in den menschlichen Körper. Das übrige dringt in den Boden ein, wo es den beschriebenen Prozessen (Kap. V) verfällt.

Aus obigen Erörterungen (siehe besonders die über Cholera, Typhus und Diarrhöe handelnden Teile) geht klar hervor, daß für einige epidemische Krankheiten gerade der an der Oberfläche sich ansammelnde Schmutz die Hauptquelle der Schädlichkeit ist. Demgemäß hat auch die Assanierung des Bodens zunächst auf eine Reinhaltung der Bodenoberfläche abzuzielen.

Man wird, meines Erachtens, in der Zukunft der Verunreinigung der Bodenoberfläche mehr Aufmerksamkeit schenken und demgemäß auf die oberflächliche Reinhaltung der Ortschaften mehr Gewicht legen müssen, als man es bisher gethan, und prinzipiell dahin zu streben haben, daß jedwede Verunreinigung in Straßen, Höfen, Häusern von der Bodenoberfläche ferngehalten resp. sofort und vollständig entfernt werde.

Die Erörterung der zur äußeren Reinhaltung der Ortschaften dienenden hygienischen Einrichtungen und administrativen Anordnungen gehört in das Kapitel „Wohnungen"; doch müssen wir gleich hier konstatieren, daß ein einfaches nachlässiges Zusammenkehren und Entfernen des Kehrichtes und der Abfälle von der Bodenoberfläche uns nicht befriedigen kann, weil ein bedeutender Teil der Unreinigkeit dort bleibt und verstäubt wird und in die Wohnungen, Nahrungsmittel, ins Wasser und endlich in den menschlichen Körper eindringt. Die Bodenoberfläche muß gründlich aufgewaschen und abgespült werden, weil die Reinhaltung, besonders in Städten, wo die Unreinigkeit am reichlichsten produziert wird, nur auf diesem Wege vollkommen gelingt.

Dabei müssen wir insbesondere in der Umgebung unserer Wohnungen und in Städten bestrebt sein, zu verhindern, daß die Unreinigkeit in den Boden eindringe. Andere Kapitel der Hygiene haben sich mit der Beschreibung und Kritik der Maßnahmen zu beschäftigen, welche dies zu bewirken imstande sind, als: zweckmäßige Pflasterung,

Kanalisation und Abfuhr der Abfallstoffe, Begräbniswesen u. s. f. (s. Band II dieses Handbuchs).

Eine rasche Assanierung des bereits verunreinigten Bodens scheint unerreichbar zu sein. Das einzige direkte Mittel wäre Ausgraben und Abfuhr der verunreinigten Bodenschichten. Die genauere Feststellung der Verfahren gehört in die allgemeine Bauhygiene (s. Band IV dieses Handbuches). Einigermaßen assaniert kann ein verunreinigter Boden auch dadurch werden, daß man ihn mit einer reinen Erdeschicht bedeckt, durch welches Mittel, wie oben (S. 223) erwähnt wurde, ein Ort von Malariaboden befreit werden kann. Der beste Erfolg scheint durch eine Kombination dieses und des ersteren Verfahrens erreichbar.

Fodor[14] hat vor längerer Zeit bei Verdacht von Infektion die Desinfektion des Bodens in Vorschlag gebracht; an mehreren Stellen des Terrains wurden Eisenrohre in den Boden eingetrieben und durch diese Chlorgas eingeblasen, welches sich in den Bodenschichten rasch ausbreitet und, wie die Budapester Versuche beweisen, die Zersetzung und Kohlensäureproduktion im Boden für eine Zeit aufhält, mithin thatsächlich desinfiziert. Doch dürfte dieser Vorschlag kaum eine praktische Bedeutung haben, da der Erfolg zweifelhaft und die Ausführung schwierig ist.

Man darf nicht übersehen, daß die Pflasterung der Ortschaften den Austausch der Grundluft mit der Atmosphäre wesentlich beeinträchtigt. Dieselbe wird zwar den Austritt von Grundluft und anderen Substanzen aus dem Boden in den Luftkreis der Straßen und Häuser verhindern und hierdurch günstig wirken; andererseits muß aber außer der oben erwähnten schwierigeren Austrocknung des Bodens, infolge des behinderten Luftwechsels, die Zersetzung der organischen Substanzen im Boden sich in die Länge ziehen, und statt Oxydation Fäulnis eintreten, deren Produkte durch Vermittelung des Grundwassers und der Grundluft schließlich doch in den menschlichen Körper gelangen. Gärten, Parks und Höfe bilden also mit ihren ungepflasterten Oberflächen gleichsam Respirationsflächen des Bodens, dessen Selbstreinigung sie beschleunigen, doch kann nicht entschieden werden, ob sie nicht auch schädliche Produkte exhalieren, insbesondere gegen den Herbst, dann am Abend und in der Nacht, zu welcher Zeit die Grundluft eine so große Tendenz zum Austritt an die Oberfläche hat.

Stäbe[15] wünschte auch die Ventilation des Bodens besonders unter den Wohnhäusern in die Reihe der stabilen bodenhygienischen Maßnahmen aufzunehmen, durch welche er einerseits die schädlichen Emanationen vom Luftkreis der Wohnungen fernzuhalten, andererseits den Selbstreinigungsprozeß des ventilierten Bodens zu beschleunigen hoffte; doch dürfte auch diesem Vorschlag, schon wegen der schwierigen Ausführung, eine praktische Bedeutung kaum zukommen.

4. Asepsie des Bodens.

Die Reinhaltung des reinen Bodens und die Assanierung des verunreinigten Bodens kann nach allen unseren Erfahrungen für die Gesundheitspflege nicht hoch genug angeschlagen werden. Englische Aerzte haben schon vor Jahrzehnten die auffallenden hygienischen Resultate

hervorgehoben, welche durch die Reinhaltung des Städtebodens namentlich mittelst Kanalisation und Wasserversorgung erreicht wurden, und Buchanan[16] schrieb für von ihm untersuchte 24 englische Städte die nach der Kanalisation erkennbare bedeutende Abnahme der Cholera, des Typhus, der Diarrhöe und überhaupt besonders der Kindersterblichkeit diesem Reinigungsprozeß zu. Obschon Virchow[17] und Flügge[18] diese Angaben seinerzeit einer scharfen Kritik unterzogen und darauf hingewiesen haben, daß während jener Zeiträume die genannten Krankheiten nicht bloß in den kanalisierten, sondern auch in den nicht kanalisierten Städten und überhaupt in ganz England zurückgegangen sind, so tritt der Einfluß und der Nutzen der Reinlichkeit in der gedachten Richtung doch immer klarer hervor, und muß die allgemeine Besserung des Gesundheitszustandes in den Gemeinden ganz Englands offenbar in erster Stelle auch der Verbreitung der öffentlichen Reinlichkeit und insbesondere der Reinlichkeit der Bodenoberfläche gutgeschrieben werden, auch an Orten, wo eigentlich nicht einmal kanalisiert wurde. Seitdem erzielten auch Danzig und Frankfurt a. M., München und Berlin, Wien und Budapest etc. hinsichtlich der Abwehr jener Infektionskrankheiten außerordentliche Fortschritte, und Lievin[19], Varrentrapp[20], Pettenkofer[21], Soyka[22] u. a. säumten nicht, diese Besserung der rascheren und vollkommneren Entfernung der Abfallstoffe und deren Fernhalten vom Boden zuzuschreiben.

Auf diesen Erfahrungen fußt die Berechtigung der Bodenhygiene, wenn sie behufs Reinhaltung der Oberfläche und des Innern des Bodens mit den weitgehendsten Forderungen auftritt. Denn es muß als vollkommen berechtigt anerkannt werden, wenn die Hygiene, um Städte, Dörfer und Wohnungen frei von Infektion und gesund zu erhalten, gerade so eine allgemeine Asepsie der Städte, Dörfer und Wohnungen fordert, wie es Chirurgen hinsichtlich der Wunden thun. Man möge in der Umgebung der Menschen alle Arten von Abfällen und Unreinigkeit sofort nach dem Entstehen und so vollkommen entfernen, daß gar nichts auf oder in den Boden gelangen oder hier zurückbleiben könne. Dann werden wir auch einen reinen Luftkreis atmen und reines Wasser genießen können, unsere Nahrungsmittel werden seltener der Fäulnis ausgesetzt sein, Infektionsstoffe werden in unserer Umgebung keine günstigen Nährstoffe finden, und wir werden nicht von der Unzahl von Zersetzungsorganismen bestürmt sein, die jetzt vom verunreinigten Boden fortwährend zerstäuben, und durch das Wasser in unseren Haushalt gelangen.

Die wichtigste Anforderung einer modernen Wohnungshygiene ist die Asepsie des Bodens.

1) **J. Arnould**, *Nouveaux élém. d'hyg., Paris* (1889) 117.
2) *Vgl.* **L. Colin**, *Traité des fièvres intermittentes, Paris* (1870); **Cyrnos**, *Journ. d'hyg.* (1888) *No* 434; **Thénard**, *De l'influence des transformations agricoles etc., Paris* (1887); *ferner* **Arnould**, *l. c.* 131.
3) *Vergl.* **R. Baumeister**, *Stadterweiterungen in techn., baupolizeil. und wirtschaftl. Beziehung* (1876). *Derselbe, Städt. Strassenwesen etc.* (1890). **A. Ronna**, *Les Irrigations. Paris* (1888).
4) **J. B Denton**, *Sanitary Engineering, London* (1877) 164.
5) *Treatment and Utilisation of Sewage, London* (1887), *III. Aufl.* 189 *u. ff.*
6) **Brunhoff**, *in Uffelmann's Jahresber* (1887) 109.
7) *Vgl.* **Göppert**, *V. f. öff. Ges.* 9. *Bd.* 718.
8) *Journ. d' hyg No.* 483.
9) *Le malarie delle Tre Fontane, Acad. d. Lincei* (1883).

10) *Uffelmann's Jahresber.* (1885) 100.
11) **Arnould**, *a. a. O.* 144.
12) *Hygien. Grundsätze bei der Rekonstruktion von Städten mit besonderer Rücksicht auf Szegedin, Berlin* (1884).
13) *Ann. d'hyg. publ.* (1883) *März.*
14) *Allg. med. Centr. Ztg.* (1875) *No.* 66.
15) *Bodenventilation, Magdeburg* (1873).
16) *Ninth Report etc., London* (1867).
17) *Kanalisation oder Abfuhr, Berlin* (1869).
18) *Beitr. z. Hyg., Leipzig* (1879).
19) *V. f. öff. Ges.* (1874).
20) *Entwäss. d Städte* (1868); *ferner V. f. öff. Ges.* 12. *Bd.*
21) *V. f. öff. Ges.* 6. *Bd.*; *ferner: Der epidem. Teil etc.*
22) *Kritik der gegen die Schwemmkanalisation erhobenen Einwände, München* (1880).

NEUNTES KAPITEL.

Methoden der hygienischen Bodenuntersuchung.

Seitdem die Hygiene auf gewisse Verhältnisse des Bodens Gewicht legt, schenkt sie auch der Bodenuntersuchung gebührende Sorgfalt. Anfangs mußte sie mit den in der Geologie, Meteorologie, Landwirtschaft und Chemie vorhandenen Methoden vorlieb nehmen, hat aber gar bald für die eigenen Zwecke besondere Methoden ausgearbeitet und erprobt, so zur Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit, zum Messen des Grundwassers, zur Beobachtung und Analyse der Grundluft, zur bakteriologischen Bodenuntersuchung u. s. f.

Eine detaillierte und systematische Beschreibung aller dieser Methoden würde den Rahmen dieses Werkes überschreiten, kann aber mit ruhigem Gewissen vermieden werden, da dieselben in den dem praktischen Hygieniker ohnedies unentbehrlichen Handbüchern der hygienischen Untersuchungsmethoden nachgeschlagen und in Verbindung mit anderen Verfahren (Wasser- und Luftuntersuchung) studiert werden können[1]. Ich will mich also auf eine Schilderung der Bodenuntersuchungsmethoden in ihren Hauptzügen beschränken.

1. Methoden der geologischen und petrographischen Bodenuntersuchung.

Die Untersuchung der Bodenkonstituenten ist in geologischen und petrographischen Lehrbüchern (s. oben S. 53), ferner in dem J. Steinsieder'schen Werke[2] eingehend beschrieben.

Die Feststellung der Niveauverhältnisse erfolgt nach den Regeln der Vermessungslehre, über welche die Fachwerke, z. B. von Baule[3] u. a. Aufschluß geben.

2. Bestimmung der mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens.

Um die mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens bestimmen zu können, schreitet man zunächst zur Entnahme einer Bodenprobe.

Lissauer[4] benutzte scharfkantige Metallcylinder, mit welchen er die Erdprobe von der Bodenoberfläche oder von dem geebneten Boden einer mit der Hand ausgehobenen Grube ausstach.

Flügge[5] nahm ähnliche Cylinder, die an den beiden Oeffnungen mit Metalldeckeln luftdicht verschlossen und durch an den letzteren befindliche Rohransätze mit Röhren, Aspiratoren etc. verbunden werden konnten.

Zur Bodenuntersuchung und Probenahme ist es am einfachsten, den Boden durch Aufgraben zu erschließen; einfach ist auch der von Fodor verwendete Tellerbohrer oder ein Röhrenbohrer (Fig. 21 1, 1'), beide mit größerem Durchmesser und kürzerer Stange für die oberflächlichen (1—2 m) Schichten, und mit kleinerem Durchmesser



Fig. 21. 1 Tellerbohrer. 1' Röhrenbohrer. 2 Pettenkofer's Mefsband zur Bestimmung des Grundwasserspiegels. 3, 3' Eisenrohre mit Schraubspitze zum Einführen von Aspirationsröhren in den Boden.

und längerer Stange für größere Tiefen (unter 2 m), mit welchen aus der gewünschten Tiefe Bodenproben von 200—500 g entnommen werden können[6].

Aehnlichen Zwecken entspricht der Röhrenbohrer C. Fränkel's[7] mit 12 cm langen, 2 cm tiefen löffelförmigen Ausschnitten, welche zur

Aufnahme der Erde bestimmt und durch eine Hülse verschließbar sind. Bei Linksbohrung bleibt die Hülse geschlossen; in der Tiefe angelangt, wird rechts gebohrt, und dadurch der Ausschnitt geöffnet und mit Erde gefüllt; wird jetzt abermals links gebohrt, so schließt sich die Hülse, und der Bohrer kann mit der Erde entfernt werden, ohne daß diese mit anderen Bodenteilen verunreinigt würde. (Fig. 22.)

Die Korngröße des Bodens wird durch Blechsiebe mit Löchern von 3 bis 1 mm und weniger Durchmesser sortiert, und die Feinerde durch sogenannte Schlemm-, Sedimentier- und Spülapparate weiter zerlegt[8].

Nach der Knopp'schen Klassifikation nennt man:

Grobkies	die Teile	mit	mehr als	7	mm	Durchmesser
Mittelkies	„	„	„	4—7	„	„
Feinkies	„	„	„	2—4	„	„
Grobsand	„	„	„	1—2	„	„
Mittelsand	„	„	„	0,3—1	„	„
Feinsand	„	„	„ weniger als	0,3	„	„

Das spezifische Gewicht des Bodens bestimmt man mittelst Pyknometers, welches zu diesem Behufe zuerst mit Wasser (oder Petroleum[9]) gefüllt abgewogen wird. Hierauf bringt man vorsichtig ein wenig (circa 5 g) getrockneten Boden in das geleerte Pyknometer, füllt etwas Wasser (Petroleum) dazu, treibt die im Boden enthaltene Luft durch Erwärmen oder im Vakuum vollständig aus und wägt das vollgefüllte Pyknometer wieder ab. Aus den erhaltenen Gewichtsverhältnissen läßt sich dann das spezifische Gewicht des Bodens berechnen (s. Flügge).

Der Luftgehalt und das Porenvolumen des Bodens kann auf verschiedene Weise festgestellt werden. Auf Seite 104—5 habe ich die als Vortragsdemonstration verwendbare Methode beschrieben, bei welcher die Luft in den Poren der Erde durch Wasser ersetzt, und das Volumen des letzteren bestimmt wird. Am physikalisch richtigsten würde man eine (mit dem Flügge'schen Apparate ausgestochene) Bodenprobe von bekanntem Volumen abwägen, die erhaltene Zahl durch das spezifische Gewicht des Bodens dividieren und nun das so erhaltene Volum der festen Masse vom Gesamtvolumen abziehen; der Rest ist das Porenvolumen.

Fig. 22.
C. Fränkel's Erdbohrer.

Flügge hat zur Bestimmung des Porenvolumens durch — mit seinem Apparate ausgestochene — Bodenproben von bekanntem Volumen Kohlensäuregas geleitet, die ausgetriebene Luft über Kalilauge in einem Eudiometer aufgefangen und hier deren Volumen festgestellt.

Die bei Felsboden anzuwendende Methode ist bei Lehmann beschrieben.

Die Porengröße des Bodens wird erhalten, wenn man vom Porenvolumen den Rauminhalt des kapillar gebundenen Wassers (s. unten) subtrahiert. Der Rest giebt die relative Menge der mehr als kapillarisch großen Poren im Vergleich zu den Kapillarporen, welchen letzteren das Volumen des gebundenen Wassers entspricht.

Die Permeabilität des Bodens für Luft wird mit der durch Bodenschichten von gleicher Höhe und gleichem Querschnitt, unter gleichem geringen Drucke (langsam) durchgeleiteten Luftmenge gemessen (Renk)[10].

Von kompaktem Boden (Sand-, Kalkstein u. a.) verfertigt man Stücke von Form und Größe eines Backsteins, bedeckt dieselben an den vier Schmalseiten mit Siegellack, klebt an den beiden breiten Seiten zwei in der Mitte durchbohrte und mit Kautschukstöpsel verschließbare Blechplatten hermetisch an, und demonstriert dessen Permeabilität, indem man Luft durchbläst oder aspiriert.

Die Strömungen der Grundluft im Boden versuchten Fodor und Smolensky mit in den Boden geblasenem Kohlenoxydgas zu messen. Die von der Umgebung des Einblaseortes aspirierte Luft wurde in kurzen Zeiträumen auf Kohlenoxyd geprüft. Zum selben Zweck würde sich auch Einblasen von Chlorgas eignen.

Das Austreten der Grundluft auf die Oberfläche hat Fodor durch in 1—2 cm und 1—2 m über dem Bodenniveau angestellte parallele Kohlensäurebestimmungen gemessen. Vogt meint dieses Austreten aus der Abnahme des Barometerstandes erklären zu können (s. im Text). Auch das Recknagel'sche Differentialmanometer[11] eignet sich zur Messung des im Boden herrschenden Luftdruckes, aus welchem auf die Grundluftströme gefolgert werden kann.

Die Feuchtigkeit oder den Wassergehalt des Bodens hat Fodor direkt bestimmt, indem er mit dem Bohrer frisch ausgehobene Erdproben von bekanntem Gewicht abwog, austrocknete und den Wassergehalt aus dem durch wiederholtes Wägen erhaltenen Gewichtsverlust berechnete. Indirekt wird sie aus den Niederschlags- und Verdunstungswerten, durch Messen der in den Boden eingedrungenen Wassermengen, aus Stand und Schwankungen des Grundwassers bestimmt, oder aus Lage, Niveauverhältnissen des Bodens, aus seiner Permeabilität und Bindekraft für Wasser und aus der Kapillarität abgeschätzt, ferner aus der an der untersuchten Stelle gefundenen Vegetation (Schilf, Weiden etc.) beurteilt.

Die zur Bestimmung der Niederschläge, der Verdunstungsgröße und der in den Boden eingedrungenen Wassermengen dienenden Apparate (Ombro- oder Udometer, Atmometer, Lysimeter) finden sich in meteorologischen Fachwerken, und auch bei Flügge, Lehmann und Emmerich-Trillich beschrieben.

Die Permeabilität des Bodens für Wasser wird annähernd aus der Schnelligkeit abgeschätzt, mit welcher in einem gepumpten Brunnen der frühere Wasserstand sich herstellt[12]. In Laboratorien pflegt man dieselbe aus der Schnelligkeit zu beurteilen, mit welcher das auf in Röhren enthaltene Bodenproben in gleich hohen Schichten aufgegossene Wasser abträufelt. Man kann auch das Wasser unter einem konstanten Druck von unten durch den Boden aufsteigen lassen, und die in einem gewissen Zeitraum von oben abgeflossene Wassermenge in einem Maßgefäß auffangen.

Die absolute Wasserkapacität des Bodens erhält man aus dem Porenvolumen, mit welchem dieselbe gleich ist.

Die kapillare Bindekraft für Wasser bestimmt man einfach in der Weise, daß man auf in Trichtern oder Röhren enthaltene Bodenproben von bekanntem Volumen oder Gewicht abgemessene Wassermengen in kleinen Anteilen aufgießt, und die abgeträufelte Menge von der aufgegossenen abzieht; die Differenz zeigt die gebundene Menge Wassers. Bei einem genaueren Verfahren wird die Bodenprobe in ein entsprechendes Gefäß mit Wasser eingestellt, so daß das Wasser von unten in den Boden aufsteigen muß; nachdem man gehörig hat abtropfen lassen, wird die Gewichtszunahme bestimmt.

Bei der Bestimmung der Bindekraft in Röhren ist zu bemerken, daß nach Renk, Heinrich u. a. (Z. f. Biol. 15. Bd., resp. Jahresber. d. Fortschr. Landw. 1888) in der unteren Hälfte der Rohre von der Bodenprobe 1—3-mal mehr Wasser gebunden werden kann, als in der oberen Hälfte.

Um die kapillare Leitung des Wassers im Boden zu messen, wird dieser in weitere Röhren (5 cm Durchm.) gebracht, die man in Wasser enthaltende flache Gefäße einstellt. Die Höhe, bis zu welcher die Feuchtigkeit aufsteigt, wird in bestimmten Zeitpunkten abgemessen, und auch die maximale Steigung notiert.

Der Stand und die Schwankungen des Grundwassers werden nach Pettenkofer mittelst eines Meßbandes bestimmt (Fig. 21, 2), an welchem ein Stab mit kleinen Schälchen befestigt ist; dieses wird in den zu untersuchenden Brunnen hinabgelassen. Fortlaufende Beobachtungen werden bequemer mit einer stabil fixierten Einrichtung angestellt; man bringt auf den Wasserspiegel einen Schwimmer und führt von diesem eine Leitschnur an die Oberfläche, wo sie über eine Rolle läuft und am anderen Ende mit einem Gewicht balanciert ist. Beim Steigen des Grundwasserspiegels wird das Gegengewicht entsprechend sinken und vice versa. Neben dem Gewicht wird ein Maßstab befestigt.

Wie die Strömungen des Grundwassers gemessen werden können, war schon im Text (S. 90) erwähnt worden.

Die Bodentemperatur wird mit stabil in den Boden versenkten langschenkeligen Thermometern gemessen; doch kann man auch bewegliche Thermometer unempfindlich machen, und an einer Schnur in im Boden fixierte Glas-, Zink- oder Holzröhren von 1, 2, 4 und mehr Meter Tiefe bis auf den Grund hinablassen. Das Thermometer wird am Grund der Röhre die Temperatur des Bodens in der betreffenden Tiefe annehmen und muß zum Ablesen rasch heraufgezogen werden. Mehrere an der Leitschnur fixierte Tampons verhindern eine Luftcirkulation im Inneren der Röhren.

Das Durchwärmungs- und Abkühlungsvermögen des Bodens, welches je nach Material, Farbe und Feuchtigkeit des Bodens verschieden ist, kann mit den im Text beschriebenen Vorlesungsversuchen (S. 58) analogen Anordnungen bestimmt werden.

Die Erwärmung der Bodenoberfläche wird mittelst in die oberflächlichste Schicht gesteckter Thermometer gemessen.

3. Chemische Bodenuntersuchung.

Die zur chemischen Untersuchung benötigten Bodenproben entnimmt man durch Aufgraben oder mittelst des Tellerbohrers.

Die mineralischen Bestandteile des Bodens und deren in Wasser oder Säuren lösliche oder unlösliche Teile werden nach den allgemeinen Regeln der analytischen Chemie bestimmt[13]).

Die organischen Substanzen des Bodens und ihre Zersetzungsprodukte bestimmt man:

Durch Inspektion: ein mit organischen Substanzen verunreinigter Boden ist infolge Humifikation und Verkohlung derselben dunkler gefärbt; ferner wird das im Boden enthaltene Eisen durch den aus faulenden Eiweißstoffen gebildeten Schwefelwasserstoff in schwarzes Eisensulfid überführt, und auch dies färbt den Boden dunkler. Feuchter Boden ist von dunklerer Farbe als der trockene.

Der verunreinigte Boden ist auch am Geruch erkennbar, welcher besonders an frisch ausgehobenen Proben deutlich auftritt. Man findet entweder reinen Erdgeruch, oder der Boden riecht moderig, nach Sumpfschlamm, Fäulnis etc. Ob die Verunreinigung animalischen oder vegetabilischen Ursprungs, und ob sie in Verwesung oder Fäulnis begriffen ist, wird schon durch den Geruch angedeutet.

Noch bessere Fingerzeige gewinnt man durch Rösten der Erdprobe, zu welchem Behufe man 10 bis 15 g getrocknete Erde in einem trockenen Reagierglase über einer Flamme erwärmt; der Geruch kann an verbrannte Federn, Leder oder Urin (reichliche animalische Verunreinigung), oder an verbranntes und befeuchtetes Stroh mahnen (reichliche vegetabilische Verunreinigung).

Um die Menge der organischen, animalischen und vegetabilischen Substanzen genauer zu erfahren, greift man zur analytischen Bestimmung des Stickstoffs und Kohlenstoffs.

Für ersteren kann man die Methode von Kjeldahl[14] oder von Thibaut[15] anwenden; den gefundenen Stickstoff multipliziert Fodor mit 3,8, wo dann die so erhaltene Menge der eines stickstoffhaltigen Körpers entspricht, welcher zur Hälfte aus im Tierkörper verbrauchten und von dort entleerten Stoffen (z. B. Harnstoff), zur anderen Hälfte aus noch nicht verbrauchten Stoffen (z. B. Eiweiß) besteht.

Die Menge der kohlenstoffhaltigen organischen Substanzen wird am zweckmäßigsten auf feuchtem Wege, durch Oxydieren des Kohlenstoffs mittelst Kalibichromat in stark saurer Lösung zu Kohlensäure und Abwägen der letzteren bestimmt[16].

Auf die Fäulnis der organischen Substanzen kann aus dem Ammoniak-Gehalt des Bodens gefolgert werden (Fodor). Zur qualitativen Prüfung ist es am einfachsten 50 g Erde in einem Kolben mit Wasser zu verdünnen und mit etwas Natronkarbonat zu alkalisieren, dann zu kochen und auf die Oeffnung des Kolbens einen Streifen Kurkuma- oder Lakmuspapier zu legen. Die Ammoniakdämpfe werden die Farbe des Reagenzpapiers verändern, und aus dem Grade der Verfärbung wird man auch die Menge des Ammoniaks abschätzen können. Ein reiner Boden (s. obigen Text auf S. 129) giebt höchstens Spuren einer Verfärbung; starker Farbwechsel zeigt einen ammoniakreichen Boden an.

Zur quantitativen Bestimmung eignet sich die Methode von Schloesing. Man treibt das Ammoniak aus einer abgewogenen Erdmenge unter Glassturz mittelst konzentrierter Natronlauge (richtiger Kalkmilch) aus und läßt es durch titrierte Säure absorbieren (s. Emmerich-Trillich).

Die Oxydation im Boden wird durch die Salpetersäure angezeigt. Um diese zu bestimmen, muß man eine abgewogene Erdprobe

mit einer abgemessenen Menge Wassers zusammenschütteln und von letzterem einen aliquoten Teil auf ein trockenes Filter aufgießen; im Filtrat wird die Salpetersäure mit den beim Wasser angewandten Methoden bestimmt. Aehnlich geht man vor, um die Menge der salpetrigen Säure zu erfahren.

Die Binde- und Oxydationskraft des Bodens für organische Verunreinigungen versucht man mit den oben im Text Seite 119 beschriebenen experimentellen Anordnungen vergleichend zu bestimmen.

Hinsichtlich der chemischen Konstitution der Grundluft untersucht man:

die Kohlensäure, zu deren Bestimmung enge Blei-, Zink- oder Glasröhren auf verschiedene Tiefen in den Boden eingeführt und mittelst Gummischlauches mit den bekannten Pettenkofer'schen Kohlensäureapparaten verbunden werden, durch welche (resp. das darin enthaltene Kalk-, Baryt- oder Strontianwasser) man die Grundluft aspiriert (s. Flügge u. a.). Behufs Einführung der Röhren wird eine Eisenstange oder ein Gasrohr von $1^1/_2$ bis 2 cm Durchmesser (Fig. 21, 3, 3') bohrend in die Erde getrieben, in den nach vorsichtigem Herausziehen klaffenden engen Raum das gewählte Blei-, Zink- oder Glasrohr hinabgelassen und zum Schluß die Lücke mit gesiebtem trockenen Sand ausgefüllt.

Den Ammoniakgehalt der Grundluft hat Fodor mittelst in weiteren Eisenrohren auf die nötige Tiefe hinabgelassenen, mit ammoniakfreier Schwefelsäure beschickten Absorptionsapparaten bestimmt; mittelst ähnlicher zur Absorption von Wasserdämpfen eingerichteter, auf den Boden von Röhren hinabgelassener Apparate prüfte er den Wasserdampfgehalt der Grundluft[17].

Zur chemischen Untersuchung der Grundluft, sowie zur Unterbringung der Bodenthermometer hat Fodor im Freien aufstellbare Kasten konstruiert[18]. (Fig. 23.)

4. Mikroskopische und bakteriologische Bodenuntersuchung.

Es ist angezeigt, die frische Erdprobe mit Wasser angerührt unter das Mikroskop zu bringen. Man wird so zahlreiche niedere Organismen und andere, die Bodenverunreinigung bedingende Substanzen erkennen.

Die bakteriologische Untersuchung ist unter Beobachtung der strengen Kautelen dieser Disziplin auszuführen; insbesondere ist die Probenahme vorsichtig und die Verimpfung rasch auszuführen, damit man nicht mit verunreinigten Proben oder mit einem während des Stehens veränderten Boden arbeite.

Zur Entnahme der Erdprobe eignet sich auch der gewöhnliche Löffelbohrer, in dessen unteren Schraubenwindungen die Erdteile durch die größere obere Windung geschützt sind. Von dort kann man mittelst sterilisierten Messers oder Löffels die Oberfläche entfernen und dann die eigentliche Probe zur Aussaat entnehmen. Auch der Fränkel'sche Bohrer eignet sich zu dem gedachten Zwecke; er wird am Boden des mit einem Löffelbohrer ausgehobenen weiteren Bohrloches eingesetzt.

Zur Aussaat der Bodenprobe giebt es zahlreiche Methoden. Fränkel entnimmt die Probe, gleich nachdem der Bohrer herausgehoben wurde, mittelst eines kleinen Metall-Löffels (von $^1/_{50}$ ccm Inhalt), bringt sie in

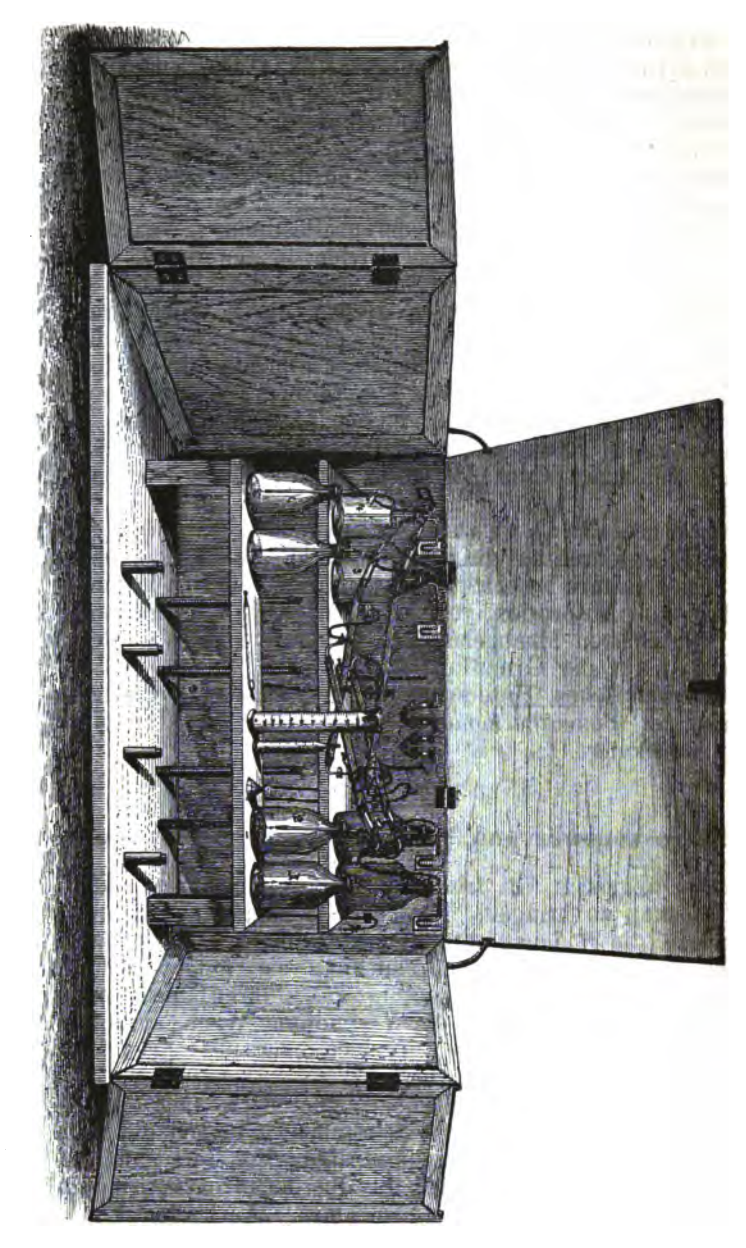


Fig. 23. Fodor's im Freien aufstellbarer Kasten zu Bodenuntersuchungen.

verflüssigte Gelatine, verteilt sie durch entsprechendes Schwingen und gießt auf Platten aus oder fertigt Rollplatten an. Beumer stampft die Bodenproben in sterilisierte gläserne Maßgefäße von 1 cm³ Inhalt und gießt sie dann in 100—1000 ccm sterilisiertes Wasser, schüttelt gut durch und entnimmt einen aliquoten Teil zum Anlegen von Plattenkulturen. Emmerich spült in einem mit feinem Metallsieb versehenen Gefäß die Bakterien mit Wasser von den Erdteilchen ab und untersucht das Wasser. Aehnliche Methoden haben Smolensky, Reimer u. a. angewendet[19].

1) *a) Systematische Handbücher der hyg. Untersuchungsmethoden:* **C. Flügge,** *Lehrbuch der hyg. Untersuchungsmethoden, Leipzig* (1881) *XVIII u.* 682 *SS., mit Tafeln, mit reicher Litteraturangabe bis* 1881; **K. B. Lehmann,** *Die Methoden der praktischen Hygiene, Wiesbaden* (1890) *XV u.* 594 *SS.*; **R. Emmerich u. H. Trillich,** *Anleitung zu hygienischen Untersuchungen, München* (1892) *II. Aufl., VIII u.* 415 *SS. b) Werke mit Beschreibung und Kritik der wichtigsten hygienischen Untersuchungsmethoden:* **H. Fleck,** *Jahresberichte d. chem. Centralstelle, Dresden, insbesondere Hefte* 2, 3, 4, 5; **J. v. Fodor,** *Hyg. Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser, Braunschweig* (1882) 2. *Bd. VIII u.* 258 *SS.: Beschreibung und Kritik der Methoden, welche zu Bodenuntersuchungen in Budapest befolgt wurden*; **J. Soyka,** *Der Boden* (*v. Pettenkofer und Ziemßen's Handb. d. Hygiene I. T.* 2. *Abt.* 3. *Heft*), *Leipzig* (1887).
2) *Anleitung z. mineralog. Bodenanalyse, Leipzig* (1887).
3) *Lehrb. d. Vermessungskunde, Leipzig* (1890).
4) *Landwirtsch. Versuchsst* (1876).
5) *Beiträge z. Hyg., Leipzig* (1879).
6) *Ueber d. Aufgaben u. d. Ausführung d. Bodenuntersuchung, Budapest* (1875) [*ungarisch*], *deutscher Auszug in: Pester med.-chir. Presse* (1875) 727.
7) *Z. f. Hyg.* 5. *Bd.*
8) **Wanschaffe,** *Anleitung zur wissensch. Bodenanalyse, Berlin* (1887).
9) **Wollny,** *Forschungen auf d. Gebiete d. Agric.-Physik* 8. *Bd.*
10) *Z. f. Biol.* 15. *Bd.*
11) **Lehmann,** 123.
12) **Flügge,** 184.
13) **R. Fresenius,** *Quant. chem. Analyse, VI. Aufl.*; *s. auch* **Wanschaffe,** *a. a. O.*
14) *S.* **Lehmann, Emmerich-Trillich.**
15) *S.* **Fodor,** 2. *Bd.* 206.
16) *Vgl.* **E. Wolff,** *Anl. z. chem. Untersuch. etc., Berlin* (1875); *ferner* **Fodor,** *a. a. O.*
17) *Hyg. Untersuch.* 1. *Bd.*
18) *Hyg. Untersuch.* 2. *Bd.*
19) *Baumgarten's Jahresber.* (1886) 432, (1887) 473, (1889) 560 *etc.*; *s. auch die bakteriologischen Lehrbücher von* **Flügge, Fränkel, Hueppe** *u. a.*

Berichtigungen.

Seite 56, Zeile 3 von unten anstatt Wühler zu lesen: Wüllner
„ 59, „ 1 „ „ „ Eisen 283,16 zu lesen: Eisen 2831,6
„ 63, „ 8 von oben anstatt Minimum zu lesen: Temperatur-Minimum
Seite 70, Zeile 13 von oben anstatt denn zu lesen: und
„ 70, „ 22 „ „ „ Sandstein zu lesen: Sandstein, resp. Kalksteinbreccie
Seite 72, Zeile 26 von oben anstatt Prozent der Kapillarräume zu lesen: Prozent der Porenräume
Seite 72, Zeile 4 von unten anstatt Pfeiffer zu lesen: Pfaff
„ 74, „ 2—3 von oben anstatt herabfiltrierte zu lesen: deplacierte

Seite 80, Zeile 3 von oben anstatt Wassersammelnde zu lesen: Wasserundurchlässige

Seite 85, Zeile 2 von oben anstatt am Rand zu lesen: an der Wand des Gefäßes

Seite 88 Erklärung zur Figur 15: *a* Schutt, *b* Schotter, *w* Wasserschichte im Schotter, *c* Tegel, *d* Wasserführende Sandschichte im Tegel.

Seite 101, Seite 25 von oben anstatt weiter erwähnt zu lesen: weiter oben erwähnt

Seite 107, Zeile 17 von unten anstatt Amon zu lesen: Ammon

„ 108, „ 16 „ „ ist zu streichen: wie Fleck annimmt

„ 114, „ 22 von oben anstatt mit Erde und überdies mit einer Steinplatte zu lesen: mit einer Steinplatte und überdies mit Erde

(*Abschluß des Manuskriptes: im Juli* 1893.)

Register.

Czaplewski, Dr. med. **Eugen,** Vorstand des Laboratoriums der Dr. Brehmer'schen Heilanstalt für Lungenkranke zu Görbersdorf i. Schl., **Die Untersuchung des Auswurfs auf Tuberkelbacillen.** Mit 1 Tafel in Farbendruck und mehreren in den Text gedruckten Holzschnitten. Preis: brosch. 3 Mark, geb. 3 Mark 60 Pf.

Guder, Dr. **Paul,** I. Assistenzarzt der Grossherzoglich Sächsischen Landes-Irren-Heil-Anstalt Jena, **Die Geistesstörungen nach Kopfverletzungen** unter besonderer Berücksichtigung ihrer gerichtsärztlichen Beurtheilung. 1886. Preis: 2 Mark 40 Pf.

Handwörterbuch der Staatswissenschaften. Herausgegeben von **Dr. J. Conrad,** Professor der Staatswissenschaften zu Halle a. S., **Dr. L. Elster,** Professor der Staatswissenschaften zu Breslau, **Dr. W. Lexis,** Professor der Staatswissenschaften zu Göttingen, **Dr. Edg. Loening,** Professor der Rechte zu Halle a. S. Erster bis Fünfter Band. Preis: brosch. 86 Mark, geb. 96 Mark. Vollständig in 6 Bänden im Umfange von ungefähr 380 Bogen grofs Lexikon 8°, welche bis Ende des Jahres 1893 erscheinen sollen. Der Preis des Werkes wird 100 Mark für broschierte und 112 Mark für gebundene Exemplare nicht übersteigen. Nach dem vollständigen Erscheinen des Werkes tritt ein höherer Ladenpreis in Kraft.

Ein derartiges Nachschlagewerk besitzt weder die deutsche noch die ausländische Litteratur.

Das „Handwörterbuch" giebt eine *Darstellung des thatsächlichen Inhalts der wirtschaftlichen und sozialen Erscheinungen. Es geht weit über die Grenzen einer lediglich verwaltungsrechtlichen Behandlung der gegenwärtig in Deutschland bestehenden wirtschaftlichen und sozialen Ordnung hinaus.*

Das „Handwörterbuch" bietet die gesamte *wirtschaftliche Gesetzgebung aller Kulturländer*, eine *detaillierte Statistik, die Hauptergebnisse der parlamentarischen und litterarischen Diskussion* und eine vollständige *bibliographische Uebersicht.*

☞ **Ausführliche Probehefte und Prospekte sind unentgeltlich durch jede Buchhandlung Deutschlands und des Auslandes zu beziehen.** ☜

Der sechste Band ist im Druck und erscheint zum Schlusse des Jahres 1893.

Klebs, Dr. **Edwin,** o. ö. Professor der allgemeinen Pathologie und der pathologischen Anatomie an der Universität Zürich, **Die allgemeine Pathologie oder die Lehre von den Ursachen und dem Wesen der Krankheitsprocesse.**

Erster Theil: **Die Krankheitsursachen. — Allgemeine pathologische Aetiologie.** Mit 66 theilweise farbigen Abbildungen im Text und 8 Farbentafeln. 1887. Preis: 14 Mark.

Zweiter Theil: **Die krankhaften Störungen des Baues und der Zusammensetzung des menschlichen Körpers.** Mit 79 farbigen Abbildungen im Text und 47 Farbentafeln. 1889. Preis: 30 Mark.

Lustig, Dr. **Alexander,** ord. Professor der allgemeinen Pathologie an der Kgl. Universität zu Florenz, **Diagnostik der Bakterien des Wassers.** **Zweite sehr vermehrte Auflage.** Ins Deutsche übersetzt von Dr. med. R. Teuscher in Jena. Mit einem Vorworte von Dr. P. Baumgarten, Professor der pathologischen Anatomie an der Universität Tübingen. 1893. Preis: 3 Mark.

Nauwerck, Prof. Dr. C., **Sectionstechnik für Studirende und Aerzte.** Mit 41 Abbildungen. 1891. Preis: brosch. 2 Mark 50 Pf., gebunden 3 Mark 10 Pf.

Neumeister, Dr. **Richard,** Docent an der Universität Jena, **Lehrbuch der physiologischen Chemie.** Erster Theil. 1893. Preis: 7 Mark.

Inhalt: Einleitung. Erhaltung von Stoff und Kraft. Das Thier- und Pflanzenleben. — Erster Abschnitt. Die chemischen Processe in den thierischen Zellen und die Zellbestandtheile. — Zweiter Abschnitt. Die Nahrungsstoffe. — Dritter Abschnitt. Die Fermente. — Vierter Abschnitt. Die Verdauung. — Fünfter Abschnitt. Die Resorption und die nächsten Schicksale der resorbirten Nährstoffe. — Sechster Abschnitt. Der Bedarf an Nahrung und die Bedeutung der Nährstoffe für den Organismus. — Schluss. Die Nahrungsmittel und die Nahrung der Kulturvölker.

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena.



